BDB−06007B

システムズエンジニアリングの基本的な考え方

初版

“ Think about the end before the Beginning “

Leonardo da Vincis

2007 年 4 月 B 改訂

宇宙航空研究開発機構
チーフエンジニアオフィス

改訂記録

符号	承認年月日	改訂箇所	改訂内容、理由等	署名
初版 BDB-06007	2006.9.15	N/A	N/A	向井利典
初版 A BDB-06007A	2006.11.22	P6, P7, P29, P36, P38, P50	フェーズ名称変更に伴う改訂	向井利典
初版 B BDB-06007B	2007.04.23	P10, P13, P15, P20, P23, P24, P28-30, P38, P44	解説書作成に関連した改訂 記載場所の移動や説明の追加等	向井利典

目次

1　本書の目的と位置付け

本書は、宇宙・航空分野における様々なプログラム/プロジェクトに共通するシステムズエンジニアリングの基本的な考え方を示し、ミッションサクセスに資する事を目的とする。各本部・部においては、業務の遂行に際し本書をご活用いただきたい。

2　システムズエンジニアリング概要

2.1　システムズエンジニアリングとは

システムとは、ある目的を達成するために組織化された機能要素の集合であり、組織化により単なる要素和以上の特性を発揮するものと定義される。システムズエンジニアリング（以下 SE と表す）は、このようなシステムの目的（ミッション要求）を実現するための工学的方法論（及び、その一連の活動）である。

システム開発の過程は幾つかのステップを踏む。第一に、ミッション要求を明確に定義することが必要である。そして、そのミッション要求と制約条件から定められたシステムの機能を段階的に分割し *1、分割された機能要素間の関係を詳細に検討する。また、分割された要素を統合して適切なシステムを作り上げていくとき、それぞれの設計が要求された機能を満足していることをチェックし、最終的には、システムの中に組み込まれた運用状態の試験で検証することが求められる。この一連の活動を示したのが図 2-1 に示すVカーブである。全体を分割と統合に大別し、V字型に折り曲げることで、同じ階層におけるアウトプット（成果物）間の検証や上位要求に対する妥当性確認を行うといった関係を表している。

図 2-1 に示すように、システム開発の中では、システムレベル、サブシステムレベル、コンポーネントレベルで同じようなプロセスが繰り返される。個々の開発プロセス（SE プロセス；第 3 章参照）には普遍性があり、3 項で述べるように個々に分類することが SE の方法論である。この分類により個々の SE プロセスをきちんと意識して実践することが容易になるが、それぞれは独立でない。それらを有機的に結合させること、すなわち、全体を見渡すというシステム思考のもとでSEプロセスを実践することが SE の肝である。

更に重要なことは、Vカーブの全体を常に見通して一貫した開発計画を立てること、そしてそこに内在するリスクを識別し、できる限りの低減策を講じることである。実際のシステム開発においては、定められた制約条件の中で品質・コスト・スケジュール（QCD：Quality, Cost, Delivery)をバランスよく満たすこと、すなわち、Best Compromise *2が求められる。開発の初期段階から、Vカーブの最終的なアウトプットと全ライフサイクルを見通しつつ、QCDのバランスとマージンを考えることが大切である。

---

*1）このような考えの根底に要素還元主義的なものの見方がある。すなわち、物事は様々な要素から成り立っており、小さな構成要素に分けその仕組みを一つ一つ解明していくことにより物事の仕組みが分かるとする考え方である。
*2）Best Compromise とは「良い意味での妥協」であり、リスクの存在を容認することも含まれる。但し、必要以上に何かの機能のベターを求めることにより生じるリスクは QCD のバランスを欠く可能性があり、厳に避けなければいけない。

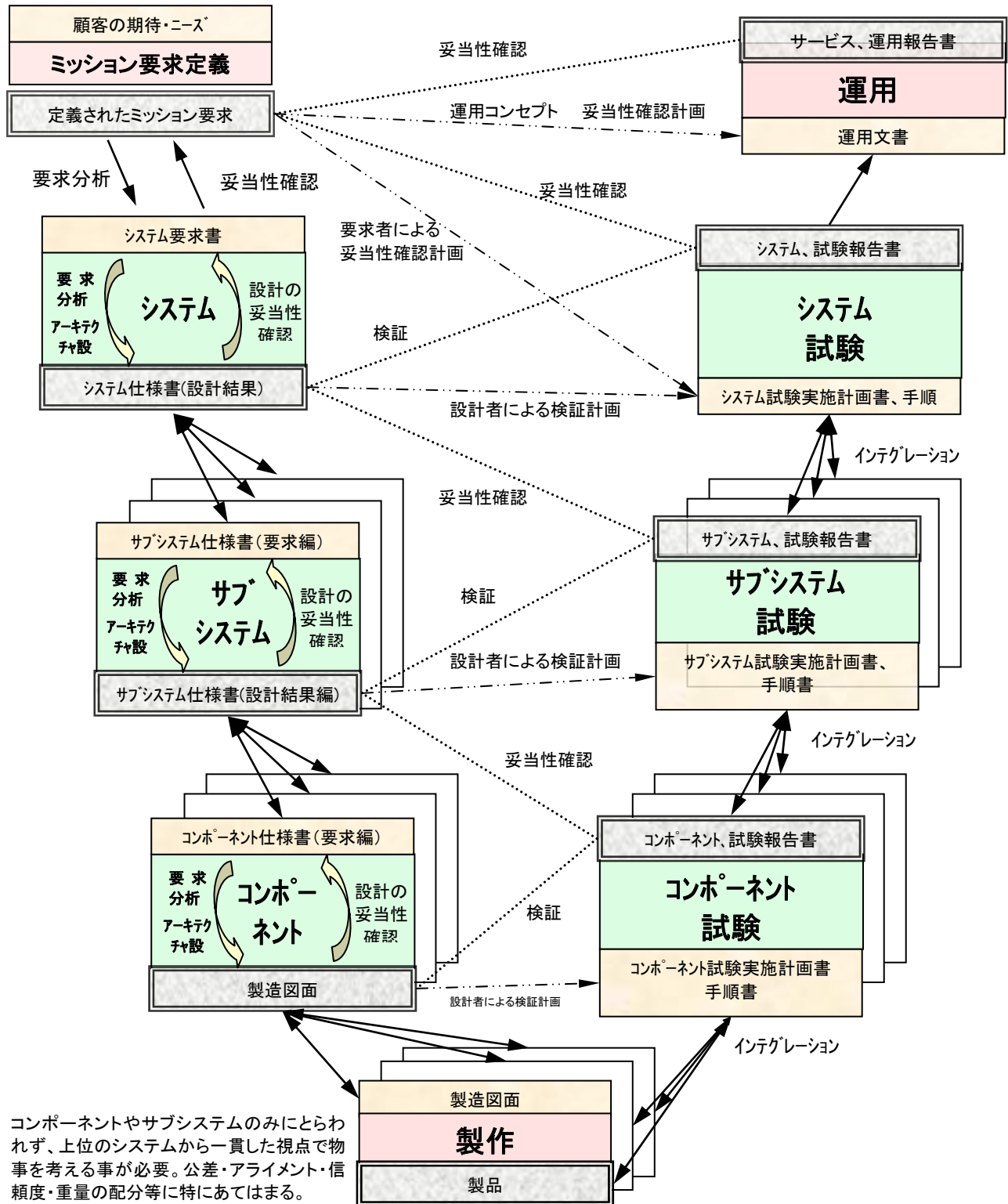



図 2-1　システム開発のVチャート

2.2　段階的プロジェクト計画法におけるSE活動

大規模なシステムを高い品質を保ちながら確実に効率よく開発するために、段階的プロジェクト計画法（PPP: Phased Project Planning）が用いられている。PPP では、開発全体をいくつかのフェーズに区分し、各フェーズで行うべき作業内容を段階的に定義する。そして、それぞれのフェーズにおける結果を審査により評価し、次フェーズへの移行可否を判断しながらフェーズを進めていく。その一例を図 2−3（次ページ）に示す。この一連の流れをプロジェクトのライフサイクルと呼ぶ。

図 2−1 に示した V カーブをライフサイクルに対応させせると、目安としては

プリフェーズ A～フェーズ A —— ミッション要求定義・システム要求の決定
フェーズ B —— システム・サブシステム・コンポーネントの基本設計/試作
フェーズ C —— 同上の詳細設計（衛星の場合、EM・STM 試験と評価も含む）
フェーズ D —— 製作・インテグレーション試験
フェーズ E 以降 —— 打上げ・運用

ということになる。（SE プロセスとフェーズの関係は 3.5 参照）

ミッション要求を決める際には、システムの実現性の見込みがなければいけない。そのためには、運用コンセプトや要求の検証可能性も含めて、ある程度のシステム設計（概念検討・概念設計）が必要であり、システムの実現性の見込みを得るためにはサブシステム・コンポーネントの検討も必要である。理想的に言えば、フロントローディングとしてこれらがきちんとできていれば、その後はプロジェクト管理として計画通りに製作・調達の管理とインテグレーション・試験をしていけばいいということになる。すなわち、図 2−2 に示すように、SE 活動の重要性は早期段階におけるシステム設計にある。

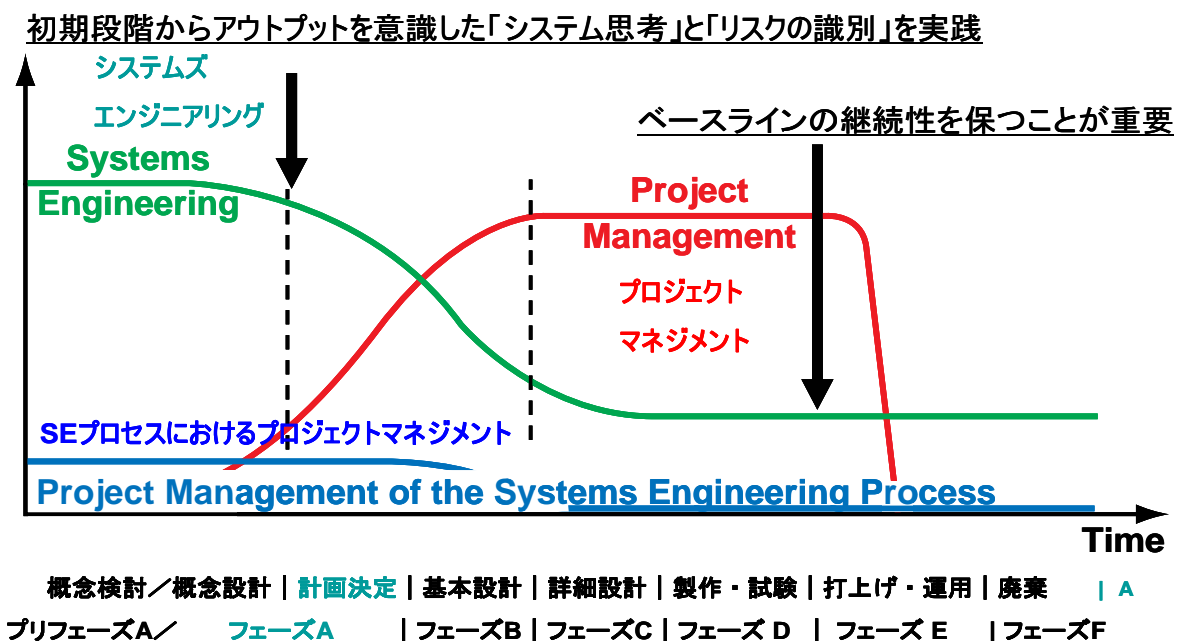
しかしながら、現実には開発の中盤以降においても大小さまざまな不具合が発生することは避けられない。その際には、要求のトレーサビリティを確保する等の SE の考えに則った対処がミッションサクセスにとって重要である。

出典：Advisory Commission for Mission Success, November 10, 2004

図 2−2　プロジェクトにおけるライフサイクルと作業量の関係

【フェーズと審査の関係】 例

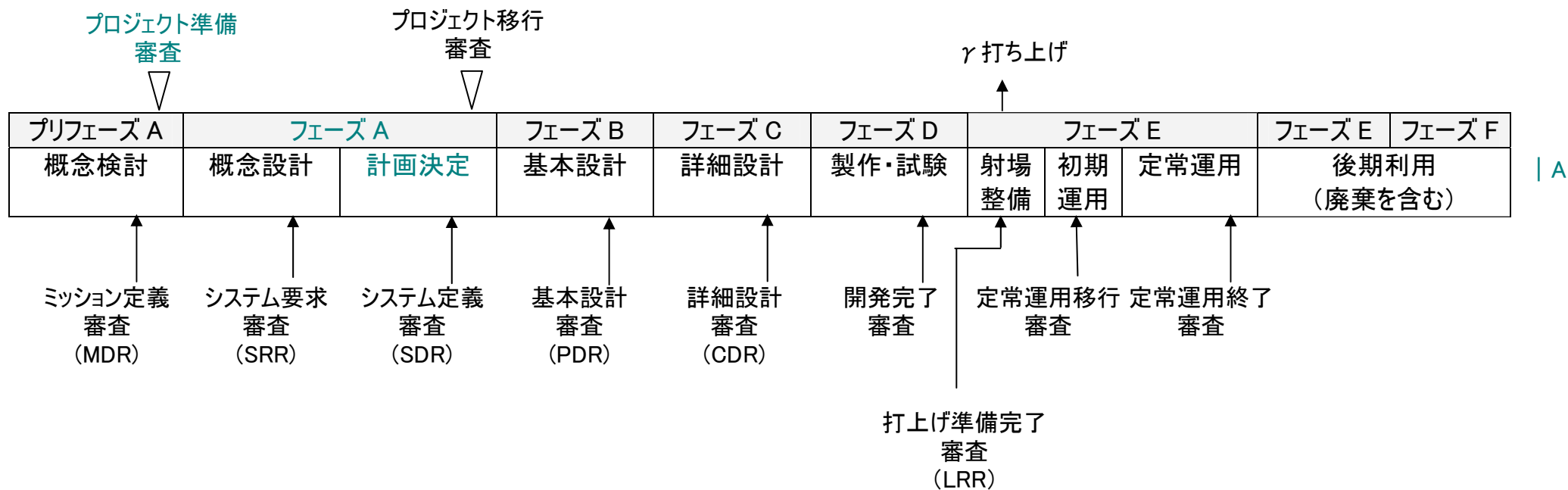



図 2-3 フェーズと審査

2.3　SE と関連分野との関係

図 2-4 にプログラム・プロジェクトを支える4機能の関係を示す。プロジェクト全体の活動を統率・管理するプロジェクトマネジメントを支える 3 機能のうち、技術的な面でサポートするのが個々の専門技術（DE: Discipline Engineering）と SE であり、安全・信頼性確保の面でサポートするのが安全信頼性保証（S&MA）である。

サブシステム・コンポーネントの具体的な設計・開発はそれぞれの専門分野のエンジニアに委ねることになるので、SE の役割は上位システムからの要求分析、その結果としての設計仕様と要求のトレーサビリティの確認、クリティカルな要素の開発計画の立案、インタフェース調整、種々のトレードオフ結果の判断、製作・インテグレーション・試験計画の管理など、いわば、「焼き鳥の串」のようなものである。

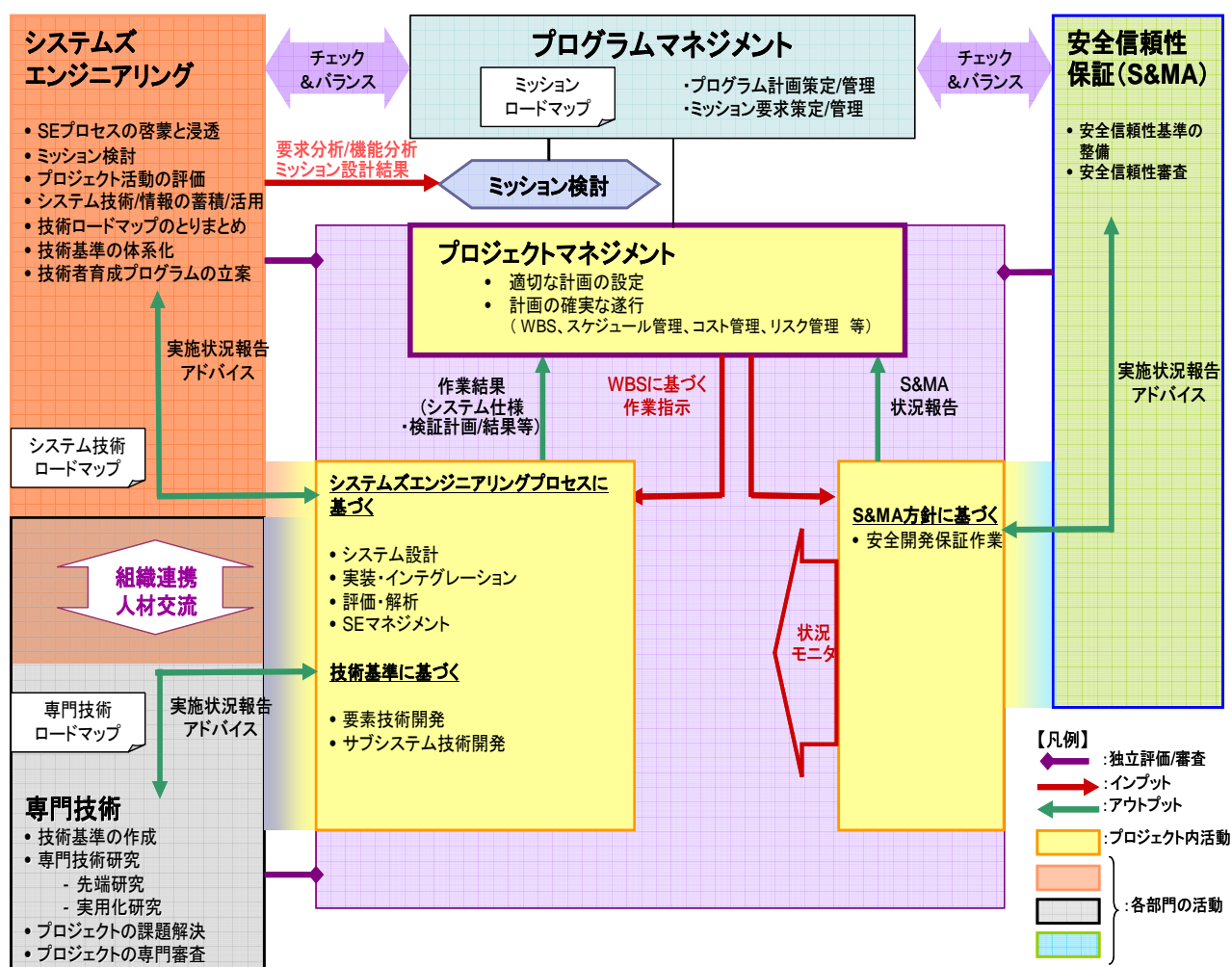



図 2-4　プログラム・プロジェクトを支える4機能の関係

2.4　SE により期待される効果

ミッションを実現するシステムを品質・コスト・スケジュールのバランスをとりながら開発するために、これまでも各エンジニアは様々な注意を払いながら、必要な機能の取込み、無駄な機能の排除、不具合や手戻りの抑制・排除を試みてきた。

SEプロセスのほとんどは、これまでのプロジェクト活動等の中で経験豊富なエンジニアの発想に基づいて既に行われてきたものであるが、これらをベストプラクティスとして体系化を図ることにより、適切なシステムを効率的（コスト、スケジュール）に実現することを目的としている。SE効果を示す例として、図 2-5 にSE活動とコスト・スケジュールの関係を示したグラフを示す。本図はINCOSE [*1]会員からのアンケート回答を解析した結果である。ここでいうSE品質とは、主観的評価であり、0 から 10 までの整数で表されている。0 は価値のないSE活動で、10 はワールドクラスのSE活動との評価である。

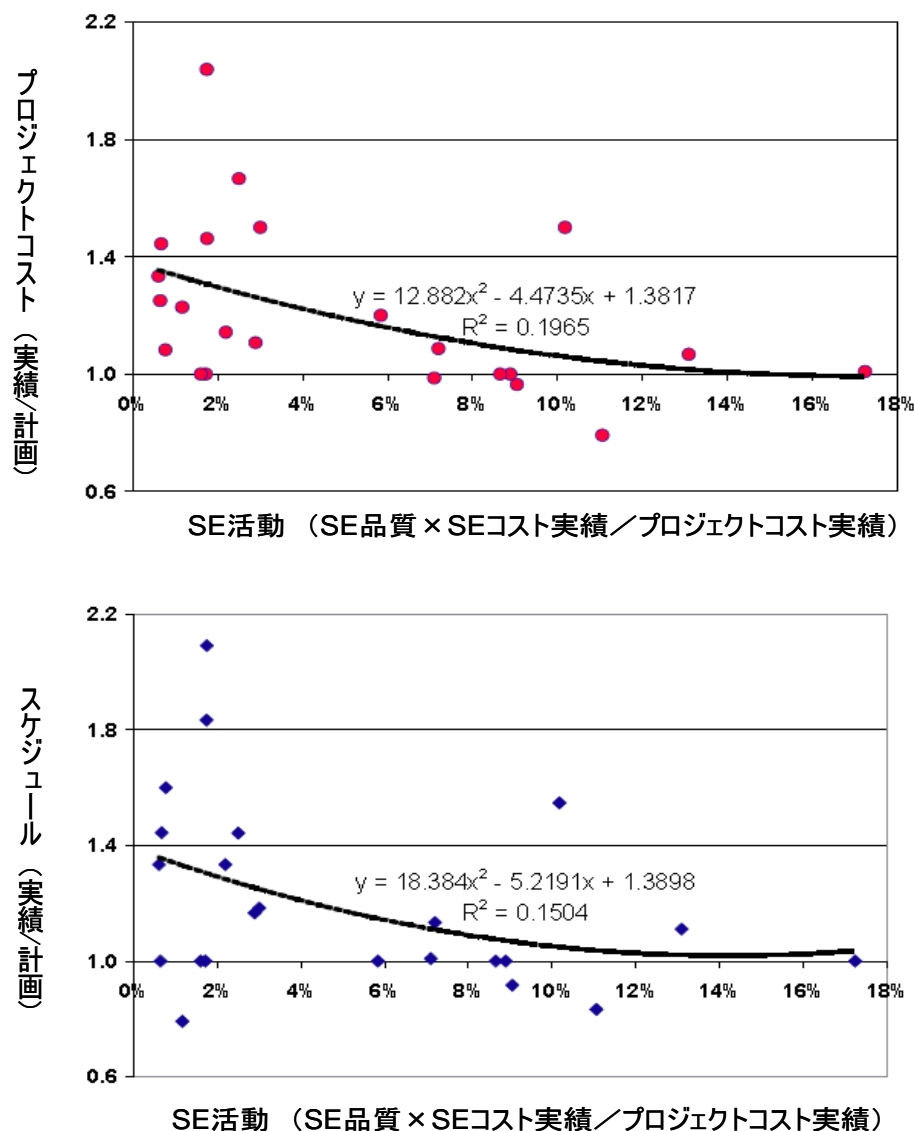
SE活動　（SE品質×SEコスト実績／プロジェクトコスト実績）

（出典： Honour, E.C., “Understanding the Value of Systems Engineering,” Proceedings of the INCOSE International Symposium, Toulouse, France, 2004.　http://www.hcode.com/seroi/）

図 2-5　SE によるコスト・スケジュールに対する効果

*1)INCOSE：The International Council on Systems Engineering 国際システムエンジニアリング協議会

SE では特に以下の活動に重点を置くことにより、従来のエンジニアリング活動を補強する。

（1）要求の明確化

システムは、いうまでもなく、特定のミッション要求を達成するためのものである。顧客・ステークホルダの要求は必ずしも工学的な言葉で表現されるとは限らないが、彼らの期待・ニーズを徹底的に（潜在的な要求も含めて）引き出し、分析して工学的要求として明確化することが重要である。さらに、それを顧客・ステークホルダに確認することで、要求の齟齬による手戻りを防ぐ。

（2）コスト・スケジュール・品質・リスクのバランスの確保

意思決定に対し、客観的な判断基準をもってコスト・スケジュール・品質（以下 QCD）をトレードオフして結果を示すことにより、バランスの良いシステムを構築する。また、システム全体を見渡して潜在的問題を早期に抽出しリスクの低減化を図ることで、QCD のバランスを崩す要因を未然に防ぐ。

（3）技術活動の明確化

全ライフサイクルにおける技術活動をあらかじめ一貫して計画し、それらの繋がりを示すことにより、現時点での技術活動の内容・目標が一層明確になるとともに、システム全体として整合性のある技術活動を行う。また、後続の活動を視野に入れて現時点の技術活動を行うことで、見通しのきいた成果を出す。

（4）経験の活用

開発プロジェクトなどで得られたベストプラクティスを体系化、フィードバックすることにより先人の知識・経験・技術を継承する。これらの教訓（レッスンズラーンド：Lessons Learned）を充実していくことにより、例えば、開発プロジェクトを担当する技術者に対する教育効果が期待でき、またチェックリストの役割を担うことで見落としの防止を図るとともに、開発の効率化を図ることができる。

なお、SE はミッションサクセスにとって必要条件であるが、十分条件ではない。高い専門技術力・洞察力と合わせることがミッションサクセスに不可欠である。

また、SE はシステムエンジニアが実践すれば良いと考えられがちであるが、システムエンジニアにだけ理解されていてもうまくはいかない。サブシステムのエンジニアにとっては、サブシステムがシステムにあたり SE の考え方が必要とされる。また、契約や法律等の他の関係者も SE の理念や基本的考え方を理解することが、円滑で調和の取れた作業につながる。

オーケストラで例えれば、指揮者はプロジェクトマネージャ、コンサートマスタはシステムエンジニア、楽団員は SE を学び SE の素養を持っている技術者と言える。指揮者やコンサートマスタが全体を見渡しリードする振る舞いを行っても、楽団員にそれに調和していく意識がなければオーケストラとして纏まらない。

B

3　システムズエンジニアリング・プロセス

前章にも述べたように SE の基本的な活動は、ミッション要求からこれを実現するシステムを定義し、このシステムを構成する個々の要素への要求や技術的仕様に段階的に「分割」することと、これらに基づいて製作（調達を含む）された要素をシステムへと「統合」し運用に供することである。またこれらの活動を繋ぐ「検証・妥当性確認」、円滑に実施するための「SE マネジメント」といった活動が必要である。

上記の考えに基づいて SE 活動を 4 つに仕訳したプロセス群の具体例を図 3-1 に示す。（5 章　用語の定義「プロセス」を参照。）　システム設計（分割）について　3.1　項に、製作・インテグレーション（統合）について 3.2 項に、評価について 3.3 項に、SE マネジメントについて 3.4 項に述べる。

分割と統合・妥当性確認の考え方は、図 2-1 の V カーブに示すように、全体的にあてはまるだけでなく、システムレベル、サブシステムレベル、コンポーネントレベル等のそれぞれの階層においても成り立つ。また、最近では、複数の大規模システムから構成される「Systems of Systems」という考えも出てきているが、全体をひとつのシステムと見れば、システム構築のアプローチには共通性がある。

実際の開発では前述の PPP（第 2 章、2.2 参照）を実施しているが、ほとんどの SE プロセスはすべてのフェーズで適切に実施される必要がある。このため、概念設計のアウトプットとして、これら SE プロセスのライフサイクルにわたる計画を作ることが大切である（そのためには、検討が必要）。その後も、SE の各プロセスは同時並行的に進捗しており、相互に関連しあっている。プロジェクトのライフサイクルと各 SE プロセスの関わりについては 3.5 項を参照のこと。

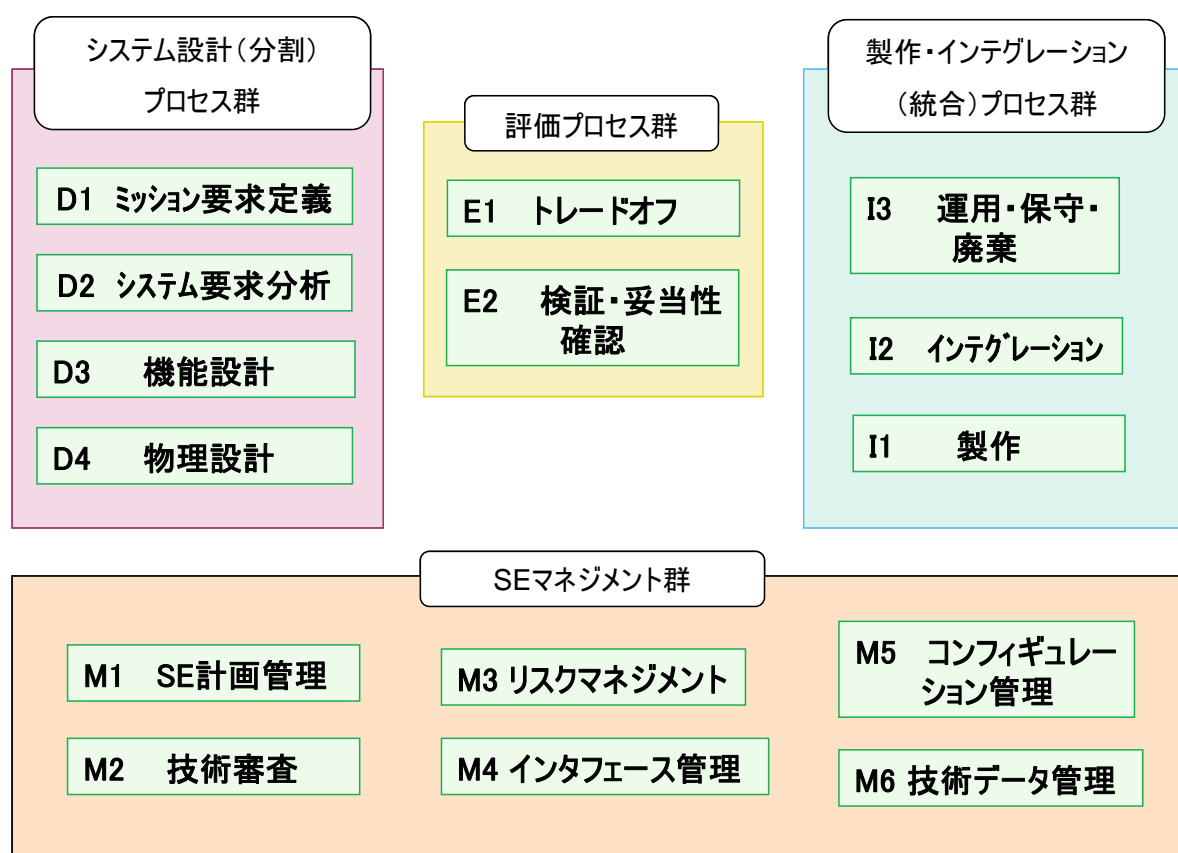



図 3-1　SE プロセス全体像

3.1　システム設計（分割）のプロセス群

本プロセスは、図 2-1 の V カーブの左上方から右下方に向かってシステムを分割していくなかで実施されるプロセスである。この分割プロセスはシステムやサブシステムなどのそれぞれの階層の中で相似的に繰り返し行われるが、そのキーワードは「要求分析」と「トレーサビリティ（用語の定義参照）」である。

なお、試験・検証の為に必要となるインフラ等の副成果物もシステムの概念検討・設計段階で考慮・検討することが重要である。

図 3-2 に示すように機能設計と物理設計を併せて、アーキテクチャ設計（用語の定義参照）とよぶ。アーキテクチャ設計の詳細については、図 3-5 とその説明を参照のこと。

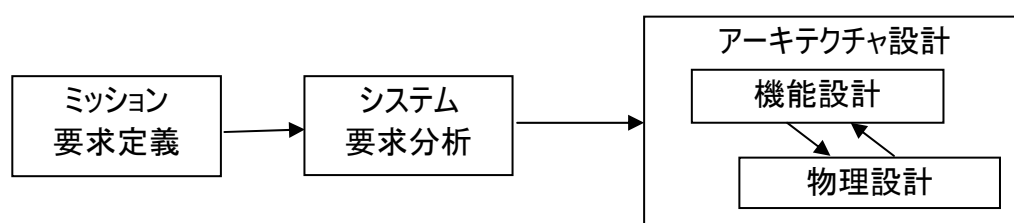



図 3-2　システム設計プロセス群の関係

3.1.1　ミッション要求定義 (D1)

入力	顧客の期待・ニーズ 他のステークホルダ（4 章用語の定義参照）の意見
活動	顧客の期待・ニーズを収集し、他のステークホルダの意見も勘案した上で、 実現性のあるミッション要求を定義する
出力	定義されたミッションの要求 （ミッション要求書、総合プロジェクト基本要求、システム運用コンセプト等）

ミッション要求定義は、ミッションの基本的な要求を取りまとめるプロセスであり、以降の SE プロセスの原点（ベースライン）となるものである。システムの開発に際しては、『誰のために（顧客）、何のために、いつまでに、どのような製品・成果物を提供するのか』が明確でなければいけないのは当然であるが、単にそれだけでなく、関連する全てのステークホルダの意見、期待、ニーズも併せて整合性がなければいけない。

まず、顧客は誰であるかを正しく認識する必要があるが、顧客・ステークホルダが最初から明確とは限らない。例えば、利用衛星の場合は、社会的ニーズや政策的要求のために開発して運用することを目的とするが、最終的に顧客を代表することになる機関や業界との間に最初はミッションの意義・目的の共通認識がない場合がある。正しい顧客・ステークホルダの識別とその真意の正確な把握が重要であり、システム開発の担い手との間で相互に正しい認識を持つことが出発点である。この点、科学衛星の場合は明確である。顧客はミッション成果に直結する当該分野

の科学者・学界であり、彼らの期待・ニーズを取りまとめる者は（プロジェクト化した暁には）プロジェクトサイエンティストとなるべき人である。

ミッション要求をまとめるに際しては、顧客・ステークホルダの期待・ニーズを自己矛盾のない工学的・技術的要求に関連付け、しかも、リソースやスケジュール、その他の種々の制約条件の下で実現性の見込みをもつ必要がある。彼らの期待・ニーズは当初必ずしも実現可能なものとは限らないので、システム開発を担う JAXA と顧客・ステークホルダの間のコミュニケーション（協議）が繰り返し行われる。最後にまとめられたミッション要求は、顧客・ステークホルダとの妥協も含めて、相互に調整、合意の結果でなければいけない（Best Compromise）。

上記のように、ミッション要求のとりまとめを行う者は必ずしも（狭義の）システムズエンジニアではない。例えば、科学衛星の場合はプロジェクトサイエンティストとなるべき人であり、利用衛星の場合は宇宙利用統括をヘッドとする組織がこれを担う必要がある。いずれにしても、ミッション要求定義プロセスのアウトプットはプロジェクト化した後に継続性を確保することが重要であり、将来そのプロジェクトの中核を担う人が深く関わることが望ましい。

顧客・ステークホルダの期待・ニーズは必ずしも工学的な言葉で表現されるとは限らないし、潜在的な期待・ニーズをも引き出すことが大切である。そのような期待・ニーズを網羅的に分析し、重要度の重み付けと実現方法と紐付けをするための手法のひとつとして、品質機能展開（QFD）がある。QFD においては品質表を作成するが、その縦軸に顧客の期待・ニーズを、横軸にそれを実現するための方法を示し、その交点に関連度の重み付けを行う。これにより、要求の抜け防止を図ると共に、システム設計等におけるトレードオフやリスク管理などに資する。

ミッション要求と工学的要求の関連付けや実現性の目処を得るには、次の段階であるシステム要求分析を待つ必要があるが、要求を取りまとめる中間段階でも、幾つかのオプションの概念的なトレード解析により見通しを立てる必要がある。また、更に深い検討、アーキテクチャ設計が必要な場合もあり、その要否と検討の深さに対する的確な判断が必要である。これらの活動にあたっては豊富な経験と洞察力が要求されるが、当該プログラムの SE 室がこれをサポートする必要がある。

以上をまとめると、本プロセスの活動は以下に集約される。

- 全ての顧客・ステークホルダを認識する。
- 顧客の期待・ニーズを収集、分析する。
- 他のステークホルダの意見・ニーズを収集、分析する。
- ミッションの目標・要求を「ミッション要求書」、「総合プロジェクト基本要求」、「システム運用コンセプト」等にまとめる。

★ 「ミッション要求書」には、以下の項目を記載する。
・ミッション機器への要求
・ミッション機器からシステムへの要求
・ミッション成功基準（サクセスクライテリア）など

図 3-3 にミッション成功基準の例を示す。成功基準はミッションの最終目標を複数の項目に分解し、分解した各々の項目について基準を設定する。基準は定量的なものが望ましいが、定性的な基準もある。 B

★ 「総合プロジェクト基本要求」には、以下の項目を記載する。
・上位の経営層・プログラム（重要なステークホルダのひとつ）からの要求事項。

★ 「システム運用コンセプト」には、以下の項目を記載する。
- 適合性試験～定常運用／緊急運用～後期利用段階における時間の流れを意識した運用の概要。
- 衛星と地上設備の機能配分、各装置に割り振られた運用者や情報の流れ。

目標

金星周回軌道上から2地球年にわたり継続的に気象観測を行うこと

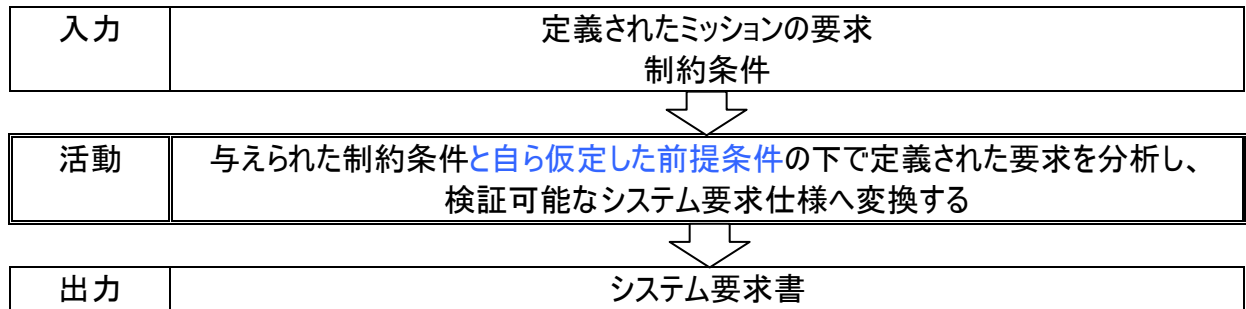
成功基準

ミニマムサクセス
雲が東西方向に1周する1週間にわたって、金星周回軌道上からいずれかのカメラによって画像を連続的（数時間毎）に取得し、全球的な雲の構造を捉える。
フルサクセス
雲領域の大気構造が変動する時間スケールである2年間にわたって以下の全ての観測を行う。
・1μm カメラ（IRl）、2μm カメラ（IR2）、紫外イメージヤし（UVI）、中間赤外カメラ（LIR）によって金星の画像を連続的（数時間毎）に取得し、3次元的な大気運動を明らかにする。
・金星で雷放電が起こっているか否かを把握するために雷ー大気光カメラ（LAC）を用いた観測を行う。
・電波科学により金星大気の温度構造を観測する。
エクストラサクセス
以下のいずれかを達成する。
太陽活動度の変化に伴う大気構造の変化を捉えるために、4 地球年を超えて金星周回観測を行う。
・1μm カメラ（IR1）により金星の地表面物性あるいは火山活動に関するデータを得る。
・2μm カメラ（IR2）により地球軌道より内側での黄道光の分布を観測する。

図 3-3 プロジェクトの目標とサクセスクライテリア（成功基準）の例
PLANET-C

3.1.2 システム要求分析（D2）

入力	定義されたミッションの要求 制約条件
活動	与えられた制約条件と自ら仮定した前提条件の下で定義された要求を分析し、検証可能なシステム要求仕様へ変換する
出力	システム要求書

B

システム要求分析は、図 3-4 に示すように顧客からの要求と全ステークホルダからの意見と制約条件を考慮し、技術的なシステム要求をまとめる（技術的要求に変換する）プロセスである。

システム要求分析プロセスにおいて以下を実施する。

- 定義された要求を分析し、技術的要求（システム要求書等）に変換することにより、システムへの機能・性能要求を明確にする。
- 上述の作業において、与えられたミッション要求と制約条件だけでは検討が進められない場合は、前提条件（確証無しに仮定した条件）を設定して作業を進める。 B
- 技術的要求に関して、顧客とともに妥当性を確認する。
- 境界や成果物自体の明確化を図る。
- システムライフサイクル全般にわたる成果物そのものと、外部環境や当該システムの運用を支援する外部システムとの関係について明らかにする。コンテキスト解析・ユースケース図等の方法は境界を明確化するための有用な手法である。
- 潜在的なリスク要因、安全性、信頼性等について明確にする。前提条件は、潜在的なリスク要因となりえるので、制約条件と識別しておくことが重要である。 B

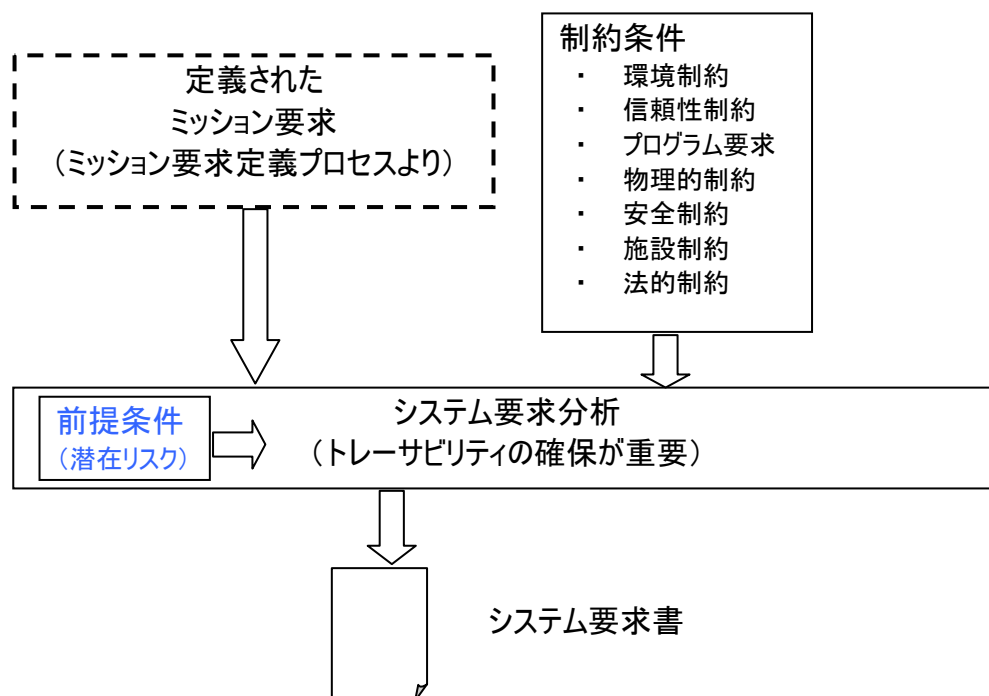



図 3-4 システム要求分析のフロー

★ 表 3-1 に「システム要求書」の例を示す。要求仕様は、検証可能性、単一性（二重定義しない）、トレーサビリティ、無矛盾性（他の要求と矛盾しない）、完全性（全情報を含む）等の要求の品質や、実現性（実現可能であること）、明確性（平易で誤解のない表現であること）、一意性（他の意味でとられないこと）を有している必要がある。

なお、システムという言葉はサブシステムやコンポーネントの各レベルでも繰り返し使用される。同様にシステム要求分析も、各レベルで繰り返し実施される。その際、下位システム設計者は、上位システム設計者からの要求を鵜呑みにするのでなく、その意図を理解しておくことが重要である。

要求変更に伴うコスト増加は開発のフェーズが後になるほど大幅に上昇していくため、要求分析の早期段階で要求をはっきりさせておくこと（要求の妥当性確認）が重要である。”TBD”項目が残されている場合は、それ自身をリスクと捉え、影響度や処置期限・処置担当等を明確にするなど特別な配慮をもってフォローを行う（リスク管理プロセスを参照）。特に初期フェーズにおいては、どのような条件を満たせば TBD を埋めることができるかを明確にして共通認識しておくことが重要である。

表 3-1 システム要求書内容例（PLANET-C の場合）

要求源泉	要求項目	要求内容
ﾐｯｼｮﾝ要求	目標寿命	金星到着後 2 地球年(打上げから最大 4.5 年)
	カメラ配置	金星軌道投入後に観測上有利な衛星面にすべてのカメラを配置
	太陽光回避角	観測カメラの太陽光回避角を 26°とし、金星と太陽のなす角が 26.5°以下の場合には、「金星指向運用」を実施しない
	姿勢制御方式	三軸姿勢制御
	姿勢精度要求	指向精度 0.1°以下、短期安定度 0.01°/3 秒以下
	蓄積角運動量のアンローディング	金星には磁場が存在しないため MW(モーメンタムホイール)のアンローディングは MTQ(磁気トルカ)以外のアクチュエータを使用
	通信速度	金星周回(高利得アンテナ使用)時: 2kbps 以上 @1.7AU 金星周回(中利得アンテナ使用)時: 8bps 以上 @1.7AU
	発生電力	地球軌道近傍　480W@1.078AU/EOL 金星周回軌道上　500W@0.7AU/EOL
	データ収集レート	記録レート　最大 64kbps 記憶容量　64Mbytes 以上
	軌道制御量	2 液推進系 1167m/s、 1 液推進系 50m/s
制約条件	打ち上げおよび軌道	打ち上げ時期、打ち上げロケット、投入軌道、投入軌道誤差、軌道
	リソース	質量、電力
	コマンドリンク	太陽補足姿勢(セーフホールド姿勢)で臼田φ64m アンテナからのコマンドが受診可能
	信頼性	設計寿命、信頼度、冗長性、部品の選定
	試験	システム試験、サブシステム・コンポーネント試験の要求
	保全性、安全性、保管	
	搭載ソフトウェア品質要求	

運用に関する要求・制約条件は、「運用コンセプト」に記載する。

アーキテクチャ設計について

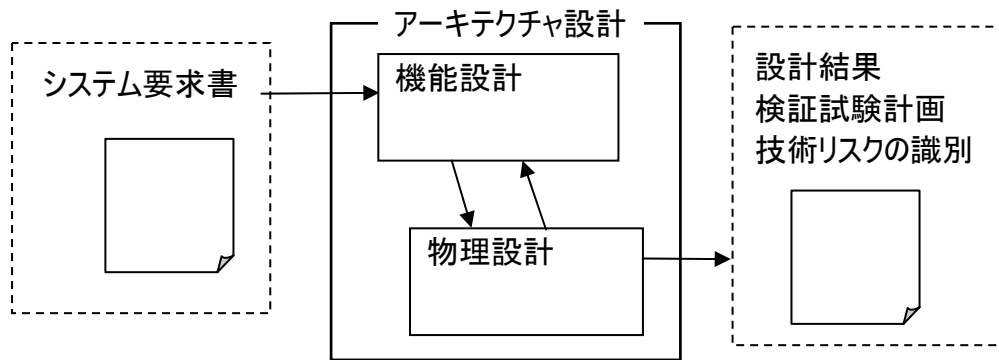



図 3-5 アーキテクチャ設計の説明

アーキテクチャ設計とは、システムに要求されている機能・性能を満足する解を作ることである。具体的には、その機能・性能をシステムの構成要素に配分して、構成要素の仕様と構成要素間のインタフェースを明確にするとともに、検証試験計画と結果の妥当性判定基準を作成する。また、アーキテクチャ設計の段階で技術リスクの識別と低減策を検討しておくことが重要である。

アーキテクチャ設計は、後述する機能設計と物理設計からなる。それぞれは図 3-5 のように同時並行で行われ、コスト、性能、技術的リスク等も含め適切な結果を得るための設計作業やトレードオフが繰返し行われる。この際、システム要求にまで遡り見直しを行う必要がある場合もあるが、そのとき、更に上位の要求からのトレーサビリティに留意する。

特に、宇宙システムのような、大規模でリソースが極限まで制限されたシステムでは、個々の分散した要素に割り付けられた機能だけでなく、システムとして組み上げられて初めて新たな機能(例：分散処理や機能冗長など)を発揮するなど、システム全体のアーキテクチャを考慮した設計が必要とされる。

V カーブの大きなフレームワークの中ではアーキテクチャ設計のアウトプットが製造設計への入力となる。但し、ここで示されている基本的な考え方は下位の詳細設計でも同様で、その意味で、下位レベルでも再帰的に行われる。

本プロセスの副産物には、製作・統合プロセス群に必要な治工具や試験装置の製作／調達計画も含まれている必要がある。

サブシステムレベル以下の具体的な設計はそれぞれの専門グループ／契約相手先に委ねられるが、システムズエンジニアも一緒に検討する必要がある。SE の主たる役割は、全体的見地からの機能配分、システムとサブシステム、サブシステムとコンポーネントといったレベル間での要求と物理設計結果のトレーサビリティ、及び、インタフェースについて齟齬がないかチェックを行うとともに、検証試験計画やリスク識別・低減策の妥当性をチェックすることである。

なお、本プロセスの結果はコンフィギュレーション管理の対象となる。

3.1.3　機能設計（D3）

入力	システム要求書
活動	要求分析で明確となったシステムへの機能・性能要求を分解する。
出力	機能ブロックの集合

機能設計では、以下を実施する。

- まずは図 3-6 のようにシステムの物理的な構成と機能の両方をイメージする。

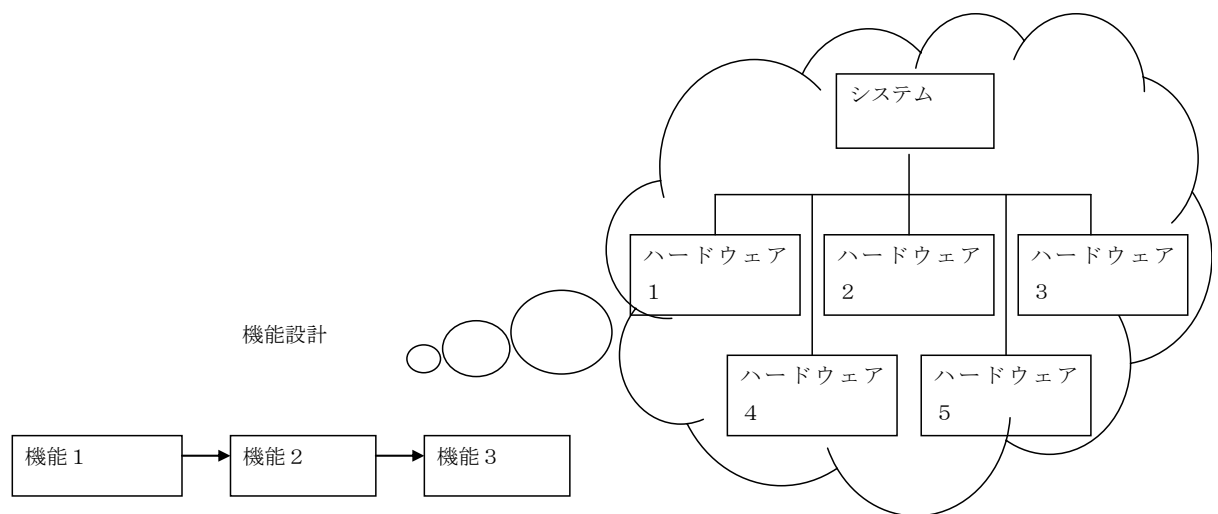
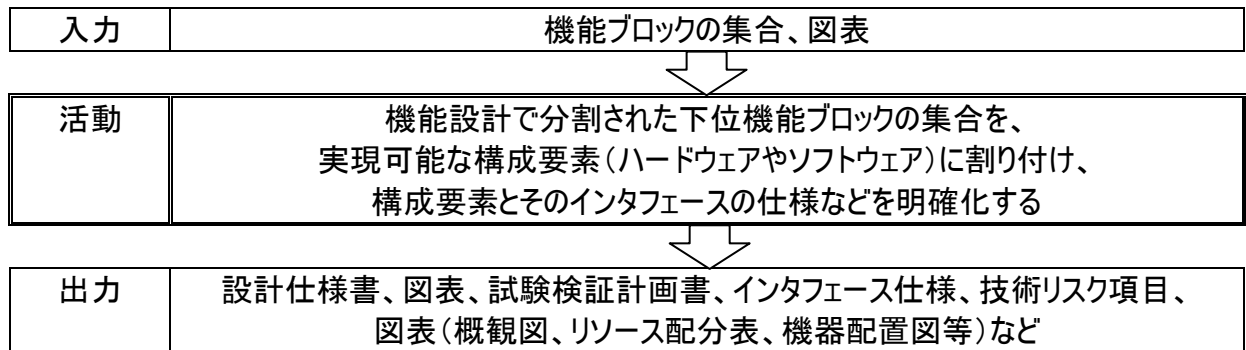



図 3-6　物理的構成と機能

- 要求分析で明確となったシステムへの機能・性能要求を管理のできる、より下位の機能に分解する。
  ・機能分解の際、機能毎に上位のレベルから抜けなく分解し、順次詳細化することにより、トレーサビリティが保たれる。このような手法で生成されたブロック図は機能フローブロックダイアグラム、FFBD（Functional Flow Block Diagram）と呼ばれる。

  ・機能設計を行うにあたり、当初イメージした物理的なシステム構成にとらわれると、最適な設計解が得られないこともありうるので、要注意。

3.1.4　物理設計（D4）

入力	機能ブロックの集合、図表
活動	機能設計で分割された下位機能ブロックの集合を、 実現可能な構成要素（ハードウェアやソフトウェア）に割り付け、 構成要素とそのインタフェースの仕様などを明確化する
出力	設計仕様書、図表、試験検証計画書、インタフェース仕様、技術リスク項目、 図表（概観図、リソース配分表、機器配置図等）など

物理設計では、以下を実施する。

- 図 3-6A に示すように、機能設計で出力された機能ブロックの集合を実現可能な構成要素（ハードウェアやソフトウェア）に割り付ける。この際、複数の代替案（比較案）を定義し、設計条件（外部インタフェース要求、技術要求、物理的故障モード、ライフサイクルコスト、発展性、製作か購入か、製品の標準化、取りまとめる上での懸念事項、製作時に考慮すべき事項(作業内容、作業場所、作業場所に設置された機器類、雰囲気)に対して分析し、最良の設計結果を選定する。
- 構成要素間及び上位のシステム等とのインタフェース仕様を明確化する。
- 設計仕様書、図表、試験検証計画書、インタフェース仕様、技術リスク項目などを出力する。
- 次の各項目を検証する、
  （1）定義された設計結果が、技術活動の制約内で実現できること。
  （2）出力された要求仕様とミッション要求定義との間にトレーサビリティがあること。
  （3）設計結果を設定する過程でなされた決定と前提条件が明確であること。
- 必要な副成果物（試験装置等）の開発あるいは入手を計画する。
- ミッション要求定義やシステム要求分析を経てアーキテクチャ設計を行うが、その際、トレーサビリティマトリックスを用いてトレーサビリティの確保に注意を払う。

B

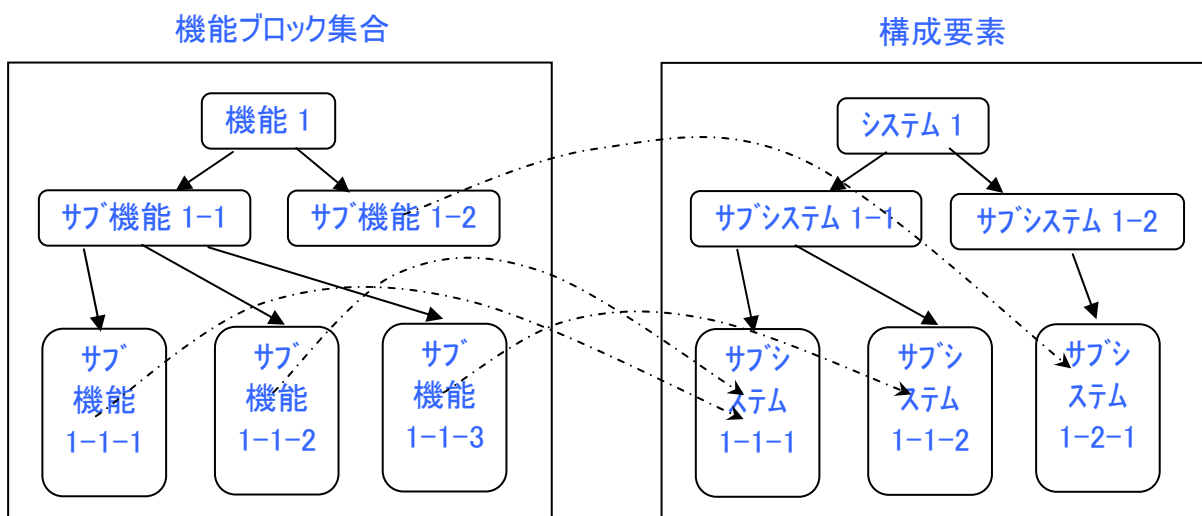
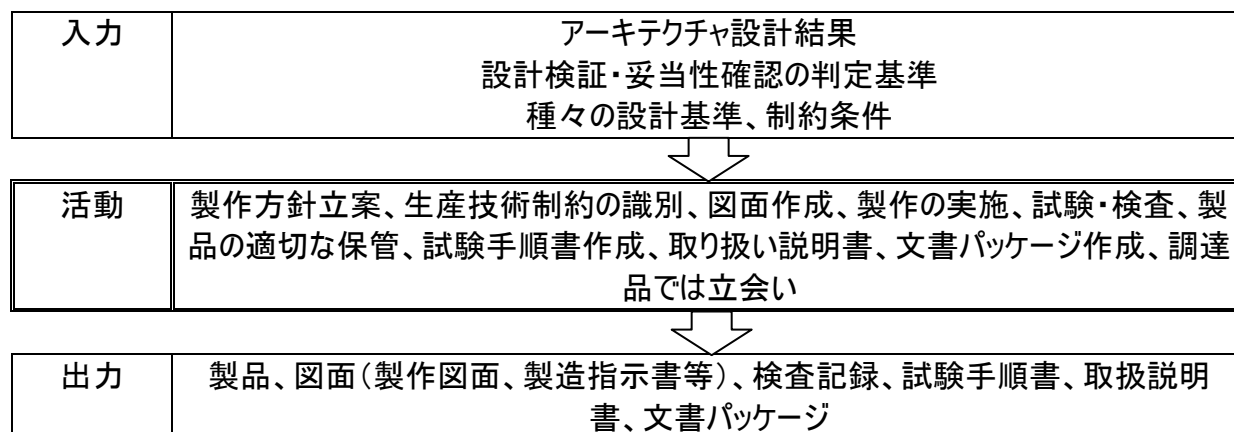



図 3-6A　機能ブロック集合の構成要素への割り付け

3.2　製作・インテグレーション（統合）プロセス群

本プロセス群は、図 3-2 の V チャートの最下層（製作）と、右上方に向かっていくインテグレーション、運用・維持・廃棄のプロセスである。

3.2.1　製作（I1）

入力	アーキテクチャ設計結果 設計検証・妥当性確認の判定基準 種々の設計基準、制約条件
活動	製作方針立案、生産技術制約の識別、図面作成、製作の実施、試験・検査、製品の適切な保管、試験手順書作成、取り扱い説明書、文書パッケージ作成、調達品では立会い
出力	製品、図面（製作図面、製造指示書等）、検査記録、試験手順書、取扱説明書、文書パッケージ

製作の実施主体は契約相手先（内部製作の場合は、その担当部門）であるが、プロジェクトのシステムズエンジニアは実施状況を常に把握し、必要に応じて専門家によるピアレビューを指揮するなど、問題が発生する可能性のある場合は的確な判断をしなければいけない。その結果、コンフィギュレーション変更が生じる場合は、上位からの要求に対する妥当性を確認する必要がある。また、本プロセスのアウトプットの妥当性を（必要に応じて、それぞれの専門グループの支援を得て）チェックし、次のステップ（インテグレーション）への移行可否を判断する。

本プロセスは、アーキテクチャ設計を受けて、種々の設計基準や制約条件を考慮して詳細な製造図面を作成し、以下の作業を実施する。なお、製造・生産部門、品質管理部門、信頼性管理部門、設計部門の間のコミュニケーションを図ることが重要である。

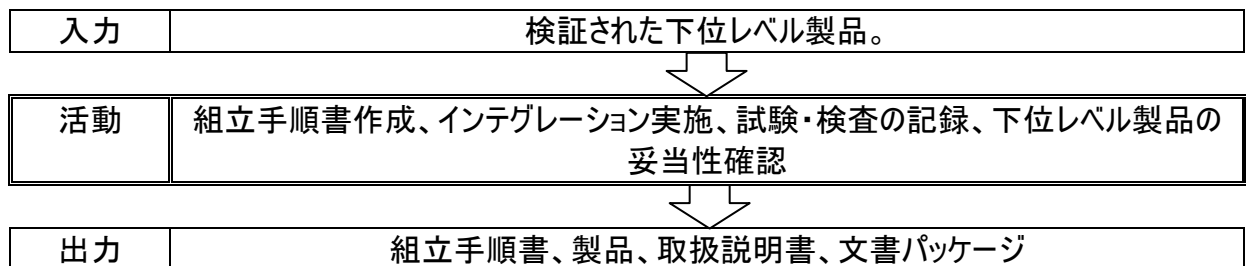
- 製作方針を立案する。
  製作手順，処理工程（塗装、めっきなど），治工具、設備などを考慮して製作方針を立案する。特に新規技術の採用にあたっては初期の段階から生産技術の制約も含めて製作方針を立案する。
- 生産技術の制約を識別する。
  選択した生産技術の予測される限界を識別する。具体的には加工精度などの限界を識別し、加工図面に反映する。
- ハードウェアの図面（製作図面、製造指示書等）を作成する。
  なお、製造指示書は製造フローチャートに依る場合もある。
- 製作を実施する。
  製作は加工、組み立てなど多岐にわたる。衛星の開発ではコンポーネントの製作が、ソフトウェアの開発ではソフトウェアコンポーネント(CSC)や処理機能を有するコンピュータプログラムの最小単位としてのソフトウェア単体(CSU)モジュールの製作がこのプロセスに相当する。衛星の開発では BBM、EM、PFM など、ライフサイクルのフェーズによって製品の呼称が異なる。
- サブシステムあるいはコンポーネントの試験・検査を行い、記録する。

なお、この試験は要求検証としての試験ではなく、製作結果の確認のための試験である。

- コンポーネント等を適切に保管する。
  製作後、試験やインテグレーションに供するまでの間、損傷などがないよう適切に保管する。なお、搭載用光学機器などではコンタミネーション管理を行う。
- 試験手順書を作成する。
  試験手順書は試験計画書を基に作成する。
- 取扱説明書、文書パッケージを作成する。
  なお、文書パッケージは、試験結果、作業記録、不具合サマリ、寿命限定品目の動作時間記録、ノンフライト品の識別等が記載され、製品の履歴が含まれた文書である。

システムあるいはサブシステム用として調達品がある場合は納入時の立会いを行う。この立会いでは出荷前審査（文書パッケージのレビュー等）なども含む。

3.2.2　インテグレーション（I2）

入力	検証された下位レベル製品。
活動	組立手順書作成、インテグレーション実施、試験・検査の記録、下位レベル製品の妥当性確認
出力	組立手順書、製品、取扱説明書、文書パッケージ

本プロセスは、衛星開発の場合、コンポーネントをサブシステムへ、またサブシステムを衛星システムへ段階的に組立てるプロセスである。なお、ソフトウェア開発では複数の CSC（Computer Software Component ）を統合しコンパイルを行うことがインテグレーションに相当する。その実施主体は、製作プロセスと同様、契約相手先（または、担当プロジェクト部門）である。システムズエンジニアの役割についても製作プロセスと同様であり、製造・生産部門、品質管理部門、信頼性管理部門、設計部門とのコミュニケーションを図ることが重要である。

インテグレーションでは、アーキテクチャ設計の際に計画された方法に基づいて手順等を詳細化し、製作・検証されたコンポーネント・サブシステムを順次上位のシステムに組み込み、それぞれのレベルで検証試験を行い、その結果が上位からの要求を満足することを確認する（妥当性確認）。すなわち、本プロセスは検証・妥当性確認プロセスとセットで実施する。なお、組立および検証試験に必要な装置や治工具の製作・調達も本プロセスで行われるが、その準備はアーキテクチャ設計の結果の中で行われる。

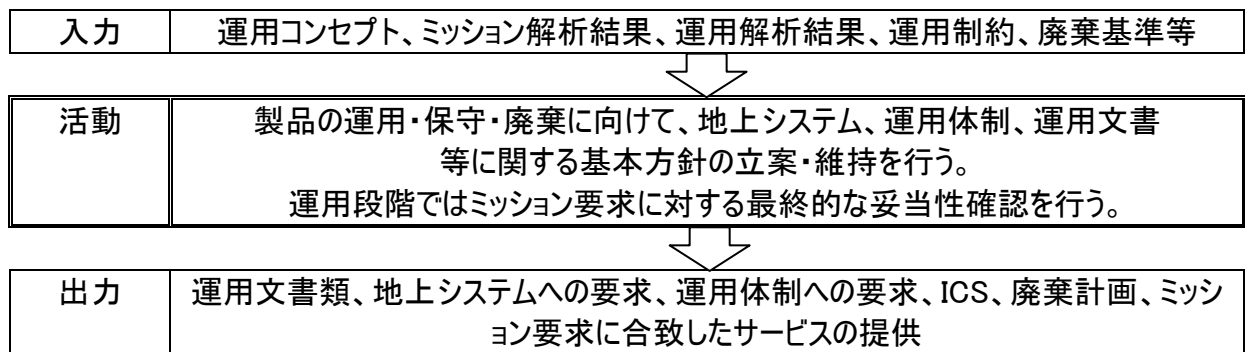
主な活動を以下に示す。

- インテグレーション・試験の計画（アーキテクチャ設計の結果）をレビューし、必要な修正を加える。
- インテグレーションのリスクを最小限にする組立て手順書を作成する。
- 組立手順書に従って試験装置、治工具、サブシステム、コンポーネントを合意されたスケジュールに沿って入手する。
- インテグレーションに必要な下位レベル製品が要求機能・性能を満足することを確認する。
- 製品間のインタフェースが正確であることを確認する。
- 組立、試験・検査を行い、記録する。
- 試験結果が上位要求を満足していることを確認する（妥当性確認プロセス）。

3.2.3　運用・維持・廃棄（I3）

入力	運用コンセプト、ミッション解析結果、運用解析結果、運用制約、廃棄基準等

活動	製品の運用・保守・廃棄に向けて、地上システム、運用体制、運用文書等に関する基本方針の立案・維持を行う。 運用段階ではミッション要求に対する最終的な妥当性確認を行う。

出力	運用文書類、地上システムへの要求、運用体制への要求、ICS、廃棄計画、ミッション要求に合致したサービスの提供

運用・維持プロセスは、システムを運用し、ミッション要求を満たすサービスを提供するものである。システムの運用が顧客の責任である場合、JAXA は初期運用終了段階でシステム要求の検証を行い、顧客がその妥当性を確認する。JAXA が引き続き運用を実施する場合では、しかるべき時期に（例えば、定常運用終了段階）、成果がミッション成功基準に照らして要求を満足していることを確認する。運用終了の意思決定が行われると、廃棄プロセスに入る。

本プロセスにおける SE の主たる役割は、製品の運用・維持・廃棄に向けて、地上システム、運用体制、運用文書等に関する基本方針の立案・維持を行うことである。

- ライフサイクルの初期段階から運用・維持・廃棄を考慮し、準備する。
- 本プロセスの入力であるミッション解析はミッションデータ取得における解析や軌道解析等であり、運用解析は軌道上のイベントを効率良く実行させるシーケンスの立案を行いSOE (Sequence Of Event) としてまとめる。この結果は後述の運用文書の源泉となる。
- 運用文書は「衛星運用文書の作成要領」（JERG-2-012）に従って作成する。主な文書としては運用手順書、チェックアウト手順書、運用ハンドブック等がある。
- 出力にある ICS は例えば衛星と地上システムとのインタフェース管理仕様書である。運用文書の概要については「用語の定義」を参照。
- なお、「スペースデブリ発生防止標準」(JMR-003A)を考慮する。

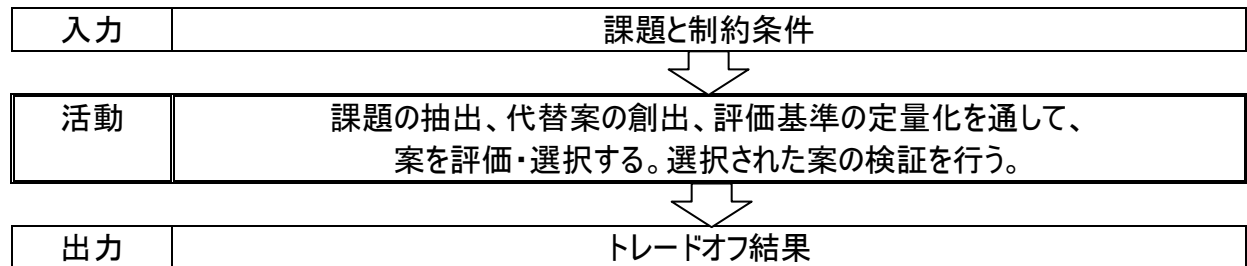
B

システムは、所定の寿命を超えたとき、あるいは、運用環境の変化により、機能・性能の劣化を生じる。システム異常あるいは不具合が生じた場合には、その原因究明と対策を講じる必要があるが、システムズエンジニアはその活動をサポートする。不具合は特定の専門技術の不足に起因するが、その背景要因として不適切な SE 活動によることが多い。その結果を Lessons learned として役立てることが大切である。

3.3　評価のプロセス群

本プロセス群は、全ライフサイクルにわたり、他のプロセス群を実行する上で連携して実施する評価に関するプロセスの集合である。評価プロセス群は、トレードオフと検証・妥当性確認に分けられる。

3.3.1　トレードオフ（E1）

入力	課題と制約条件
活動	課題の抽出、代替案の創出、評価基準の定量化を通して、案を評価・選択する。選択された案の検証を行う。
出力	トレードオフ結果

トレードオフは、ライフサイクルの早期フェーズ（分割プロセス）において、意思決定のために実施されるものである。例えば、ミッション要求を達成する解（システムの方式）を複数用意し、いずれかを選定することなどである。また、サブシステムレベル以下の設計においても、方式の選択、コンポーネント、部品の選定など、大なり小なり常に行われているが、これらの選択・選定の結果は設計あるいは製作に大きな影響を及ぼす。

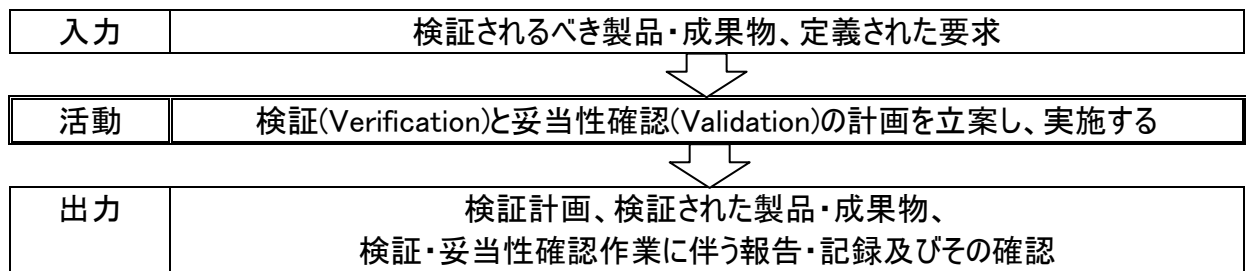
トレードオフでは以下を実施する。
- トレードオフすべき課題を認識する。
- 課題の本質を見極めた上で代替案（比較案）を創出する。
- 評価基準を定量的に定義（重み付け）する。
- 必要に応じて「解析」「試作試験」を実施する。
- 代替案に対する評価（点数付け）を行う。
- 案を選択する。
- 選択された案の検証を行う。

上記作業は、関係者とコミュニケーションを図りつつ実施する。このようにして実施したトレードオフ結果はバランスの取れた要求や設計及びマネジメント判断に資する。

トレードオフでは、○×△の記号で優位付けを行うのが一般的であるが、可能な範囲でより定量的な方法を採用することが望ましい。具体例としては、Stuart Pugh’s Controlled Convergence 法や Kepner−Tregoe 法などがある。

B

3.3.2　検証・妥当性確認（E2）

入力	検証されるべき製品・成果物、定義された要求
⇩	
活動	検証(Verification)と妥当性確認(Validation)の計画を立案し、実施する
⇩	
出力	検証計画、検証された製品・成果物、 検証・妥当性確認作業に伴う報告・記録及びその確認

検証・妥当性確認では、検証(Verification)と妥当性確認(Validation)の計画を立案し、実施する。このプロセスはきわめて重要な SE プロセスであり、システム開発の様々なステップで行なわれる（図 2-1 参照）。

- 検証は「製品の機能・性能が設計どおりにできているか」を確認する行為であり、主として試験、解析で行う。
- 試験計画はアーキテクチャ設計と一緒に立案することが重要である。通常は、検証マトリクス（Requirement Verification Traceability Matrix）を用いて行なうが、最も重要なことは End-to-end 試験の実施である。
- 妥当性確認は、当該システムが要求を出した人の意図する機能・性能を有していること（right design）を確認する行為である。 つまり、要求どおりにできているかを確認する行為である。一般に要求を出した人が確認する。
- 最終的な妥当性確認は顧客の真のニーズが反映されている事を確認する行為であり、エンドユーザや利用者によって行われるべきものである。

3.4　システムズエンジニアリングマネジメントプロセス群

本項では、3.1～3.3 項で述べた個々の SE プロセスを全ライフサイクルを通して横断的に管理し、成果物の品質・コスト・スケジュールをバランスよく達成するためのマネジメントプロセスについて述べる。

SE とプロジェクトマネジメントの関係がしばしば論議を呼んでいるが、マネジメントに関して両者の関係を明確に区別する必要はない。図 3-7 に示すように、顧客、開発機関/契約相手先、供給業者は階層構造をなしているが、SE マネジメントは、各階層におけるプロジェクト管理とシステムズエンジニアリング活動にまたがる部分に位置する。すなわち、SE は技術面からプロジェクトマネジメントを強化するものである。

なお、プロジェクトマネジメントが責任を負うコストとスケジュールは、SE マネジメントの中では最適な性能を追求する時の制約条件として考慮される。

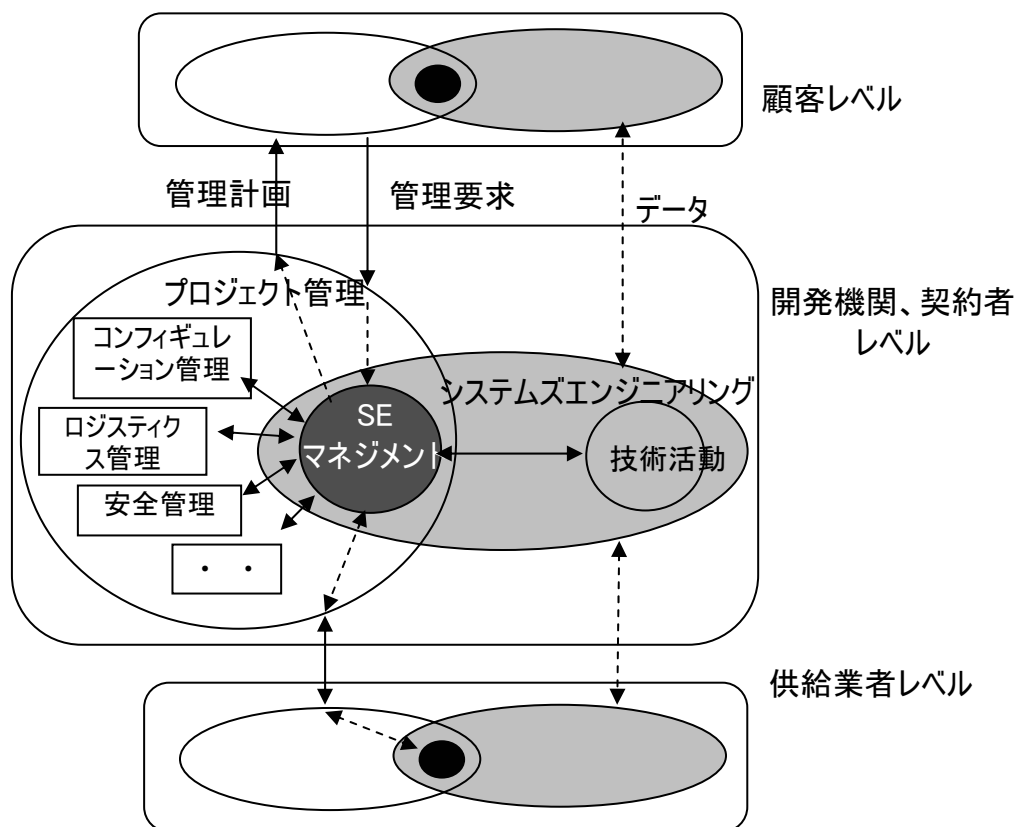



図 3-7　プロジェクト管理とシステムズエンジニアリング活動

3.4.1　SE 計画管理（M1）

活動	全ライフサイクルにわたり、SE プロセス全体を計画・管理する

ミッション要求を満たすシステムを実現するためには、技術的な見通しやそれぞれの技術活動を統合的に管理・制御することが不可欠である。このため、体制を含む技術に関するマネジメント計画をあらかじめ立案し、プロジェクトマネジャ、システムズエンジニア、専門技術者などが共通の認識に立って、技術活動を遂行することが重要である。

SE 計画管理は、ライフサイクル全体にわたって実施する SE プロセスの計画について立案し、進捗を管理することによってプロジェクトマネジャを技術面から支援するプロセスである。

具体的には、システムズエンジニアリングマネジメント計画書(SEMP: Systems Engineering Management Plan) を立案・作成し、全ライフサイクルにわたって維持・管理する。

◆　SEMP 作成

プロジェクト計画の一部をなす技術マネジメント計画は、SE マネジメント計画（SEMP)と称される。SEMP は単独の文書となることもあれば、プロジェクト計画書の一部となることもある。 SEMP の具体的内容を以下に記す。

- 当該プログラムまたはプロジェクト計画における技術活動に関する基本方針
  - ①　システム構成の基本方針 （既存品、新規技術の導入方針等）
  - ②　信頼性設計の基本方針 （冗長系の考え方等）
  - ③　開発モデル、解析ツール、情報化技術の考え方　等
- 技術活動の体制
- 全ライフサイクルにわたる SE プロセスの具体的な実施計画
- 各フェーズにおける技術審査の実施計画
- 技術レベルの識別方針、識別された各レベルの技術に対する取り組みの考え方
  - ①　技術成熟度の評価方針
  - ②　成熟度の低い技術に対する対処方針 ｛成熟度向上の方策、非常事態（コンティンジェンシ）における考え方｝

◆　SEMP と既存文書との関係

SEMP の多くの部分は、既存文書（標準・計画書等）にも記載のあるものである。SEMP はライフサイクルにおけるプロジェクト活動をプロセスの視点からまとめたものである。SEMP と既存標準類との関係を図 3-8 に表す。

◆　SEMP 作成の意義

SEMP を作成することにより、現在様々な標準や計画書に散在していた技術計画を統合管理することが可能となる。また既存文書には明示的に記載されていなかった「ミッション要求やシステム要求のトレーサビリティ確保の重要性」等を、SEMP を作成することにより補うことができる。

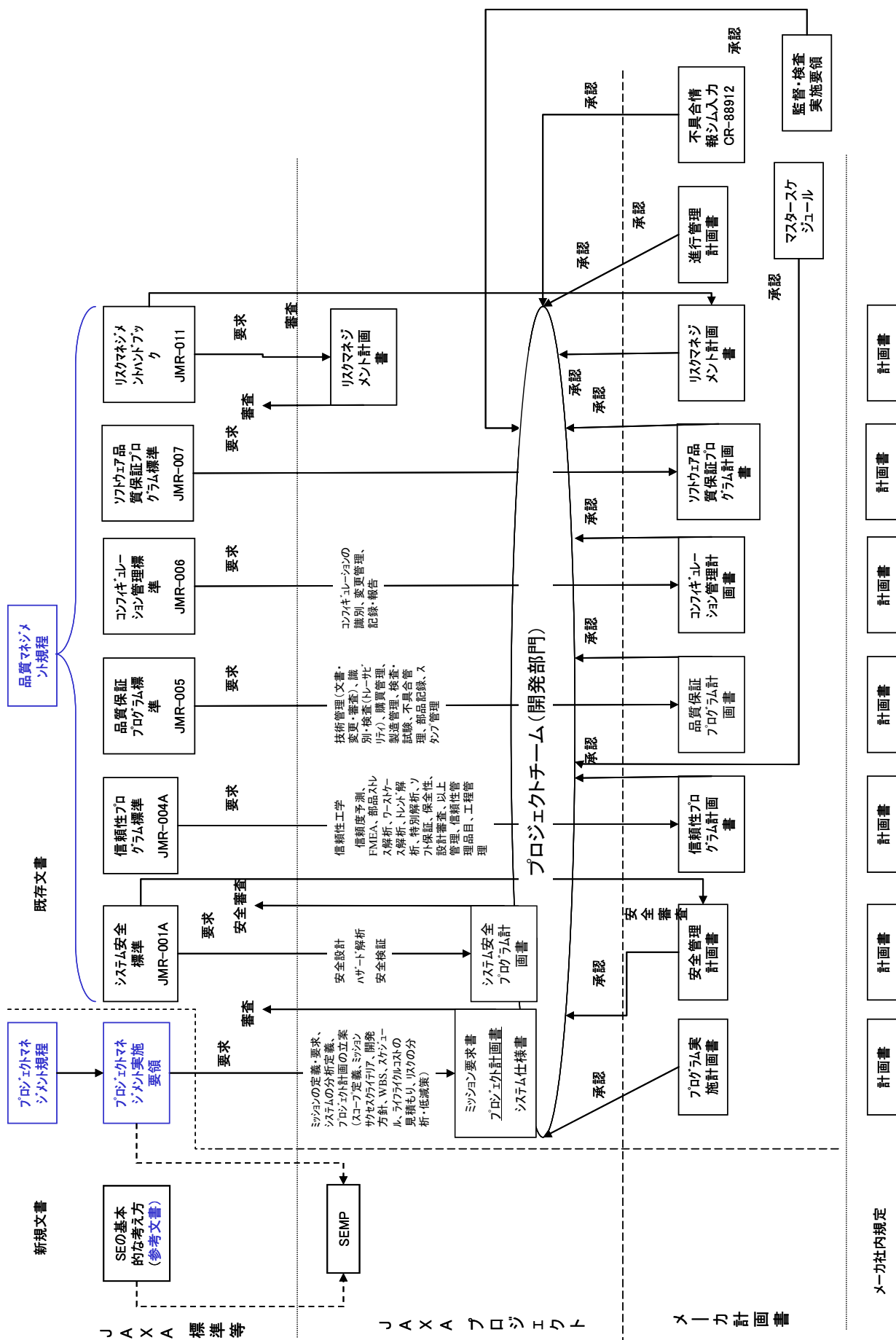



図 3-8 SEMP と他 JAXA 標準類との関係

3.4.2　技術審査（M2）

活動	明確な審査基準をもった技術審査の計画を立案し実行する

技術審査では以下を実施する。

- 審査会の意義・目的や審査基準を明確にした技術審査の計画を立案し実行する。
  - ・ライフサイクルの各段階に整合した審査実施計画・要領を規定する。
  - ・日々の設計作業で得られる技術成果を、要求と設計解のトレーサビリティを保った資料として作成し、計画書等と併せて審査対象とする。
  - ・なお、審査の第一段階は自己点検であるという視点に立って、設計作業のエッセンスを設計者自ら再整理した資料も審査対象とする。
  - ・必要に応じて、専門家によるピアレビューを実施する。

なお、フェーズと審査の関係については、2.2 項および「プロジェクトマネジメント実施要領」を参照。　｜ B

審査で明らかになった技術的な問題点は、次フェーズを開始するまでに解決する、或いはアクションアイテムとして次フェーズに確実に引き継がなければいけない。

3.4.3　リスクマネジメント（M3）

活動	リスクマネジメント計画に基づき識別されたリスクの低減状況を確認する。 また、潜在するリスクを識別しマネジメント計画を最新化する

リスクマネジメントでは以下を実施する。

- リスクマネジメントハンドブック(JMR−011)に拠り、立案されたリスクマネジメント計画で識別されたリスクの低減状況を確認する。また、潜在するリスクを識別し「リスクマネジメント計画書」を最新化する。

  - リスクマネジメントは、早期段階（概念設計フェーズ等）からライフサイクルを通じて継続的に実施する。識別されたリスクに対しては、代替案の検討（トレードオフ）やシステムレベルでの対処可能性等も含めてリスク低減策を検討し、設計に反映してリスク低減を図る。

  - クリティカルと判断された項目については、リスト（CIL: Critical Item List）を作り注意深くトレースする。

  - なお、契約者のリスクマネジメントは計画決定フェーズから活動し、「リスクマネジメント計画書」を作成し、JAXA の承認を受ける。　A

技術成熟度(TRL: Technology Readiness Levels)の判定は技術リスク識別の手法として有用な標準的指標である。ただし、過去の実績を参照する際は環境条件等の違いに注意する必要がある。利用にあたっては「JAXA 技術成熟度（TRL）運用ガイドライン」（BDB−06005）を参照のこと。　B

技術リスクの解析手法として、故障モード影響解析（FMEA）、ワーストケース解析（WCA）や仮想 FTA があるが、これらは機械的に行うのではなく、想像力を働かせることが重要である。

一般的に、リスクには、技術リスク、コストリスク、スケジュールリスクおよびプログラムリスクの4種類があり、その4つのリスクの相互関係を図 3-9 に示す。なお、プログラムリスクは、外的要因（プロジェクトの優先順位が下げられる、プロジェクトを進める許可が遅れる、予算の削減や予算執行が遅れる、企業や国の目標変更等）によって生ずるリスクである。

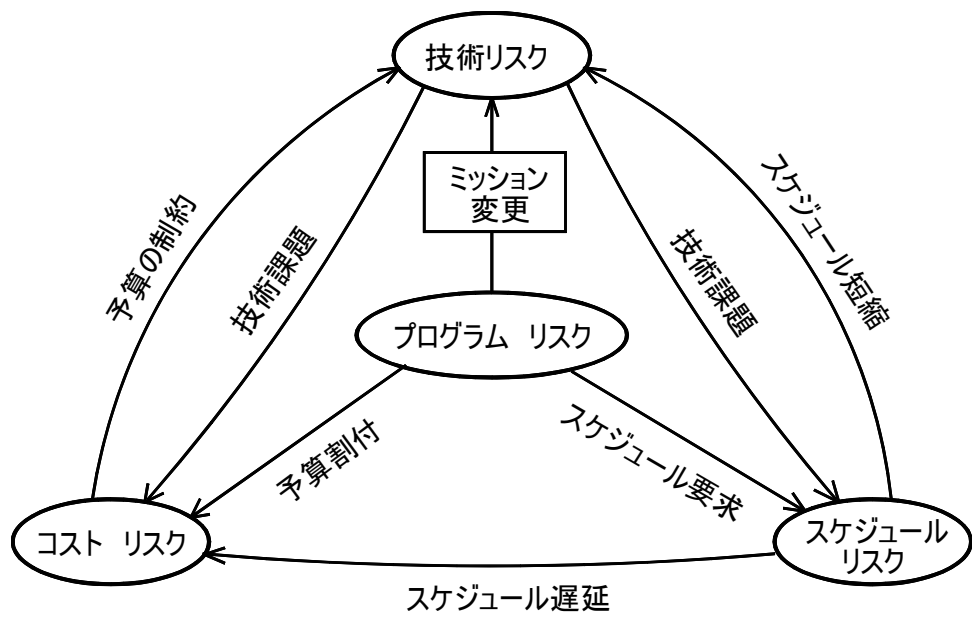



図 3-9 4つのリスクと相互関係

リスクは図 3-10 に示すように望ましくないイベントの発生率と発生したときの影響の重大性との2つの成分によってあらわされる。

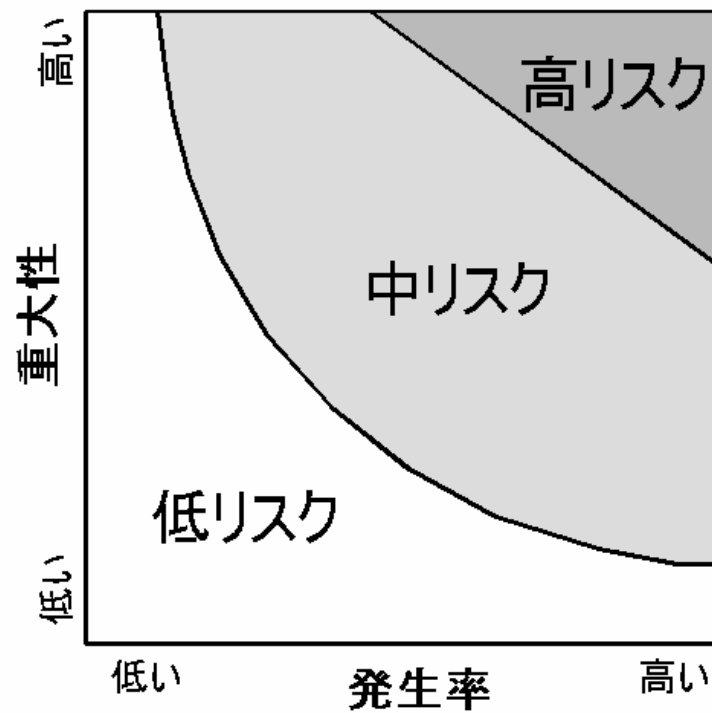



図 3-10 発生率と重大性によるリスクレベルの表示

（図 3-9,3-10 出典：INCOSE Systems Engineering Handbook V.3 June 2006）

3.4.4　インタフェース管理（M4）

活動	システムの内部・外部に関する機能的・物理的インタフェースやデータインタフェースを定義し、最新の状態で管理する

インタフェース管理では以下を実施する。

- システムの内部・外部に関する機能的・物理的インタフェースやデータインタフェースを定義し、最新の状態で管理する。

・システム/サブシステム間の合意内容をインタフェース文書（ICS：Interface Control Specification や ICD：Interface Control Document 等）に記載し、それらがシステムとして整合性を持つよう管理する。
・インタフェース設定根拠を適切に管理し、必要と判断される場合は調整を行う。
・特に新規開発品の場合、上流設計段階において(例えばコンテクストダイアグラムや N スクエア図等の使用により)インタフェースに漏れのないようにする。

3.4.5　コンフィギュレーション管理（M5）

活動	製品及び副成果物のコンフィギュレーション（機能的及び物理的特性）を識別し、管理計画を立案し、変更を管理し、最新の状態を記録する

コンフィギュレーション管理では、以下を実施する。

- 契約者は、「JAXA コンフィギュレーション管理標準」(JMR−006)に則り、「コンフィギュレーション管理計画書」を作成し、JAXA の承認を受ける。契約者は供給業者に対しても必要なコンフィギュレーション管理を要求し、管理する。

SE の観点では特に以下の点が重要である。

・コンフィギュレーション管理は、最終製品が要求仕様を満たすことを保証するために、最終製品を構成するサブシステム、コンポーネント、部品等や副成果物に対して、管理計画を立案する。
・管理すべきコンフィギュレーション項目を識別し、識別されたコンフィギレーションを全ライフサイクルにわたって維持管理する。

3.4.6　技術データ管理（M6）

活動	SE プロセスで出力された技術データを管理する方針を定め、その方針に則って技術データを維持する。

技術データ管理では以下を実施する。

- SE プロセスでアウトプットされる技術データから管理すべきデータを識別し、それらの管理方針を定める。なお、品質管理、信頼性管理等については、システムズエンジニアは品質保

証・安全信頼性管理部門とコミュニケーションを図ることが重要である。

・システム実現のために条件・制約となる種々の条件は常に最新の状態に維持する。
・技術データの関連付けを明らかにし、最新の状態を維持することが重要である。（JAXA メーカー間を含む。）
例：設計者が変わると過去の設計・計算の源泉データにたどりつけないケースも散見される。最上位の設計・計算結果のデータは審査文書／報告書などに記載されるが、その下位にある源泉データは担当部署での管理に任されているのが実情であり、源泉のトレーサビリティに問題が発生する。本プロセスはこのようなことを防止するためのプロセスである。
・Lessons　Learned システムを効果的に活用しやすくしていく「仕組み」を組入れることが重要である。

3.5　ライフサイクルと SE プロセスの関わり

表 3-3 にライフサイクルにおけるフェーズと SE プロセスの関係例を示す。ライフサイクルやフェーズ（以下段階と言う）の定義は 2 章（2.2）ならびに 5 章（用語の定義）を参照のこと。

重要な事は、ほとんどの SE プロセスが開発の最初から実施されることである。すなわち、最初から V カーブ全体を見通して同時並行的に立案し、開発段階が進むにつれて（それぞれに適したフェーズで）具体的なレベルで繰り返し実施される。段階毎のさまざまな成果物、例えば要求、仕様、各種解析結果、トレードオフ、検証結果、試験データ等は、次の段階での SE 活動を支援するとともに、技術データ管理プロセスの中でデータベース化されていき、次プロジェクトへの継承となる。

SE の観点から見て、各段階における主要な活動は以下である。

・概念検討フェーズ　（プリフェーズ A）

- ミッションの目的と実現性を検討することにより、ミッション要求を定義し、ミッション要求書の初版を制定する。
- 概念検討の結果はミッションの意義と実現性という観点で組織として評価され、事業化に向けたプロジェクト準備を組織内外に向けて開始すること及び概念設計に着手することが意思決定される（**ミッション定義審査**）。
- この段階においては、「ミッション要求定義プロセス」を中心として、3.1 項に示すシステム設計のプロセス群を用いてミッション要求、上位のシステムレベルでの実現性をトレードオフを含めて検討し、その結果を顧客・ステークホルダに示しながら、繰返し検討を行うことが重要である（トレードオフプロセス）。
- システムレベルでの実現性の検討は、検証計画の概念（検証・妥当性確認プロセス）や運用コンセプト（運用・維持・廃棄プロセス）など、ライフサイクルの後半の活動についても必要なレベルで、もれなく考慮する。
- 要求が多岐にわたる場合には優先度を明らかにし、最終的にはミッションサクセスのクライテリアとして明らかにし、顧客・ステークホルダと合意に達しておくことが必要である。
- 概念レベルの検討において鍵となる技術を識別し、成熟度に応じて技術的リスクの低減に向けた方針の検討（リスクマネジメントプロセス）や、重要なクリティカル技術についての要素技術開発が開始される。
- この段階ではミッションの価値をその規模と比して判断するための所要の精度コスト予測が求められる。このコスト予測は、予備設計段階でシステムが定義された後ボトムアップ見積りとして見直される。
- その他プロジェクト準備の一環として、SEMPの作成を中心に、技術マネジメントに対する準備を開始する（SE マネジメントプロセス群）。

・概念設計フェーズ　（フェーズ A）

- ミッション要求書と運用コンセプト（たたき台）などに基づき、プログラムからの要求や各種制約条件を考慮してシステムへの要求を定義し、システム要求書として初版を制定する（システム要求分析プロセス）。このシステム要求書は、システムを設計するにあたっての重要な要求であり、かつ開発メーカ選定に向けた重要な提示文書となる。このシステム要求書は、後の段階においてミッション要求とシステム仕様を繋ぐベースライン文書として維持管理されるが、多くのミッションの場合、システム仕様書に統合されていくものとなる。

- 概念設計は、プロジェクトを準備するために設置されたチームやワーキンググループを中心として組織的に検討され、その成果はシステムへの要求として、実現性も含めて評価される（**システム要求審査**）。評価の結果を受け、予備設計への着手とメーカ選定の準備開始が組織として意思決定される。
- システム要求は、ミッション要求からの単なる引き写しではなく、システムの実現性を十分に考慮してフローダウンする必要がある。システムの実現性については、概念検討段階での結果に基づき具体的に機能設計や物理設計を実施した結果として、構成品の目処付けという形で示される。（アーキテクチャ設計プロセス）。また、各コンセプトでのトレードオフを十分実施しておくことも重要である（トレードオフプロセス）。この検討の結果、必要に応じて、ミッション要求定義を見直すこともあり得る。
- システム検討の一環として、そのシステムに採用する技術の成熟度と信頼度に注目し、機能レベルの FMEA などを通じてクリティカル技術を識別し（リスクマネジメントプロセス）、システムレベルのトレードオフの評価項目と位置づけるとともに、リスクを低減するための要素技術試験などの結果を含めて実現性を確認する。
- システムレベルでの実現性には、検証の概念（検証・妥当性確認プロセス）や運用コンセプト（運用・維持・廃棄プロセス）なども含め、ライフサイクルの後半の活動についても概念検討に引き続き検討を深め、ベースライン化する。
- その他プロジェクト準備の一環として、SEMPの作成を中心に、技術マネジメントに対する準備を完了し、必要なマネジメント計画をベースライン化する（SE マネジメントプロセス群）。

・計画決定フェーズ （フェーズ A）　　A

- 後の詳細設計実施に向けて適切な仕様を固める技術活動の前半部分として、システムレベルの仕様を定義（アーキテクチャ設計）し、その結果を評価して（**システム定義審査**）、システム仕様書としてベースライン化する。
- 上記作業の結果として、ミッション要求書を確定する。その際、顧客・ステークホルダとの合意が必要である。
- 予備設計段階では、契約者/メーカが決定される（以降の段階の主たる設計及び製作・試験作業は、ベースライン化されたシステム仕様書に基づいて契約者/メーカが実施する）。
- システム仕様書をベースライン化するためには、システムレベルのアーキテクチャ設計や同位・下位のシステムに対する機能・性能要求の検討をくり返し実施し、それらのインタフェース仕様を定義する（インタフェース管理プロセス）。この際、下位のシステムのアーキテクチャ設計も必要なレベルまで実施し、上位のシステムの成立性を見極める必要がある（アーキテクチャ設計）。
- システム要求に適合した試験検証計画を具体的に立案する（検証・妥当性確認プロセス）。
- 運用コンセプトを運用計画として具体化を始める（運用・維持・廃棄プロセス）。
- 予備設計における技術マネジメントでは、概念設計段階においてベースライン化されたマネジメント計画に加え、選定されたメーカの SEMP やリスクマネジメント計画等のマネジメント計画が設定され、以降の段階におけるベースラインとなる（SE マネジメントプロセス群）。
- この段階ではメーカが選定されシステム仕様も決定されることから、ボトムアップの見積りによりコスト精度を上げ、客観的に評価することも重要である。

基本設計フェーズ （フェーズ B）

- 後の詳細設計実施に向けて適切な仕様を固める基本的技術活動である。システム仕様からサブシステム/コンポーネントの仕様に細分化し（アーキテクチャ設計プロセス）、サブシステ

ム/コンポーネント仕様書としてベースライン化する。必要に応じてシステム仕様を見直す。

- 仕様に基づき EM/STM の製作に必要なシステム設計解析等を実施し、製造図面や一部の EM を製作開始する（製作プロセス）。
- システム要求に適合した試験検証計画をより詳細化する（検証・妥当性確認プロセス）。
- FMEA や想定される FTA などで識別された技術リスクについては具体的解決策を示す（リスクマネジメントプロセス）。
- 技術マネジメントでは、SEMPやリスクマネジメント計画等のマネジメント計画は維持改定される（SE マネジメントプロセス群）。
- 基本設計の最後では、システム・サブシステム・コンポーネントレベルの**「基本設計審査」**（PDR)を行い、システム要求に対する設計結果の適合性を評価するとともに、ミッション要求からの一貫性を確認する（技術審査プロセス）。

詳細設計フェーズ （フェーズ C）

- システムの製作、インテグレーション、検証に必要なシステム/サブシステム/コンポーネントの詳細設計を確定し、製造図面を作成する（トレードオフプロセス、 アーキテクチャ設計プロセス、製作プロセス）。
- 必要な EM/STM の製作と試験（製作プロセス、検証・妥当性確認プロセス）を行う。システム仕様の見直しが必要な場合には、システム要求への適合性も併せて確認する。
- EM/STM での熱平衡試験等の計画立案の為に、運用計画の初版を策定する（運用・維持・廃棄プロセス）。
- FMEA や想定される FTA を詳細化するとともに EM/STM の製作と試験などで識別された技術リスクについては、具体的に解決を図る（リスクマネジメントプロセス）。
- PFM/FM の製作工程/試験計画/検査計画等の詳細化を図る。
（製作プロセス、インテグレーションプロセス）
- 技術マネジメントでは、SEMPやリスクマネジメント計画等のマネジメント計画は維持改定される（SE マネジメントプロセス群）。
- 詳細設計終了時には、各レベルの**「詳細設計審査」**（CDR)を行い、システム要求に対する設計結果の適合性を評価するとともにミッション要求からの一貫性を確認する（技術審査プロセス）。

製作・試験フェーズ （フェーズ D）

- 前段階で設計した PFM/FM の製造と試験を通じてシステムの統合を実現し（製作プロセス、インテグレーションプロセス、検証・妥当性確認プロセス）、運用計画を制定する（運用・維持・廃棄プロセス）。

運用・維持・廃棄フェーズ （フェーズ E&F）

- ミッション要求を満たすべくシステムを運用する（運用・維持・廃棄プロセス）。
- 定常運用に向けて軌道上で機能の確認や妥当性確認を行う（検証・妥当性確認プロセス）。
- 軌道上データを管理する（技術データ管理プロセス）。

80529

表3-3 ライフサイクルにおけるプロセスのアウトプット/*アクティビティ（斜体で示す）*の例

▲メーカ選定

▼検討チーム発足　▼プリプロジェクトチーム発足　▼プロジェクト正式発足　▼ 打上げ準備完了審査LRR、打ち上げ

▼MDR、プロジェクト準備審査　▼SRR　▼SDR、プロジェクト移行審査　▼PDR　▼CDR　開発完了審査▼　▼定常運用移行審査▼定常運用終了審査

ライフサイクル／SEプロセス		(参考)	プリフェーズ A	フェーズ A		フェーズ B	フェーズ C	フェーズ D	フェーズ E／F
		研究	概念検討	概念設計	計画決定	基本設計	詳細設計	製作・試験	運用／維持／廃棄
システム設計（分割）	ミッション要求定義		ミッション要求条件書	ミッション要求条件書 改定	ミッション要求条件書 フリーズ	→	→	→	
	システム要求分析		システムへの要求の案	システム要求書	→	→	→	→	
	機能設計		初期機能ブロック	機能ブロック （主にシステムレベル）	機能ブロック （主にシステム）	機能ブロック （主にSS/コンポレベル）			
	物理設計		初期物理設計結果	構成品目の目処付け	仕様書案（設計編） BBM仕様書	仕様書（設計編） EM仕様書	PFM仕様書	→	
製作・インテグレーション（統合）	製作			*要素技術開発*	*要素技術開発*	BBM EM図面	EM PFM図面	PFM(FM)	
	インテグレーション			初期AIT(*2)計画書	→	→	AIT計画書・準備 EM、STM組立監視 統合の記録	AIT計画書・準備 PFM(FM)組立監視 統合の記録	
	運用・維持・廃棄		運用コンセプト （たたき台）	運用コンセプト	運用計画ドラフト(SOEなど)		運用計画（初期版） （SOE,SOP,SOOH）	運用計画（制定版） （SOE,SOP,SOOH）	*運用*
評価	トレードオフ		*トレードオフ* *（システム実現性）*	*トレードオフ* *（各コンセプト内）*	*トレードオフ* *（主にSS/コンポ内）*	*トレードオフ*	*トレードオフ*	*トレードオフ*	*トレードオフ*
	検証・妥当性確認		検証計画の概念	検証計画（たたき台）	初期検証計画	→	EM,STM検証 GSE妥当性確認	PFM(FM)検証 GSE妥当性確認	軌道上バリデーション
SEマネジメント	SE計画管理		SEMP （たたき台）	SEMP初版	JAXA SEMP維持 メーカSEMP	→	→	→	→
	技術審査		*MDR*	*SRR*	*SDR*	*PDR*	*CDR*	*認定試験後審査* *出荷前審査*	*定常運用移行前審査* *定常運用終了審査*
	リスクマネジメント		リスクマネジメント計画書　識別文書		リスクマネジメント計画書 識別文書（メーカ）	→	→	→	→
	インタフェース管理		ICSの基本方針案	ICSの基本方針 ICS案	ICS/ICD初版	→	→	→	→
	コンフィギュレーション管理(*1)		CMPの基本方針案	CMPの基本方針 CMP案	CMP初版	→	→	→	→
	技術データ管理		*技術データ生成、管理*	*技術データ生成、管理*	*技術データ生成、管理*	*技術データ生成、管理*	*技術データ生成、管理*	*試験・検査データ管理*	*軌道上データ管理*

| A

注記：①CMPはコンフィグレーションマネジメントプランを示す。　②AITはAssembly,Integration,Testingを示す
③SRR:System Requirment Review,SDR:System Design Review　④→は維持改定を示す。

4　System-of-Systems (SoS)

近年、System-of-Systems(SoS)という定義がある。独立した(あるいは、別の目的で作られた)複数のシステムを大きな枠組みの中に取り込んで構築することにより、新たな効果を生み出そうとする概念がSoS である。したがって、個々のシステムはトップダウン的な要求分析から作られているとは限らないが、個々のシステムは大きな全体の中でひとつの機能要素とみなすことができる。

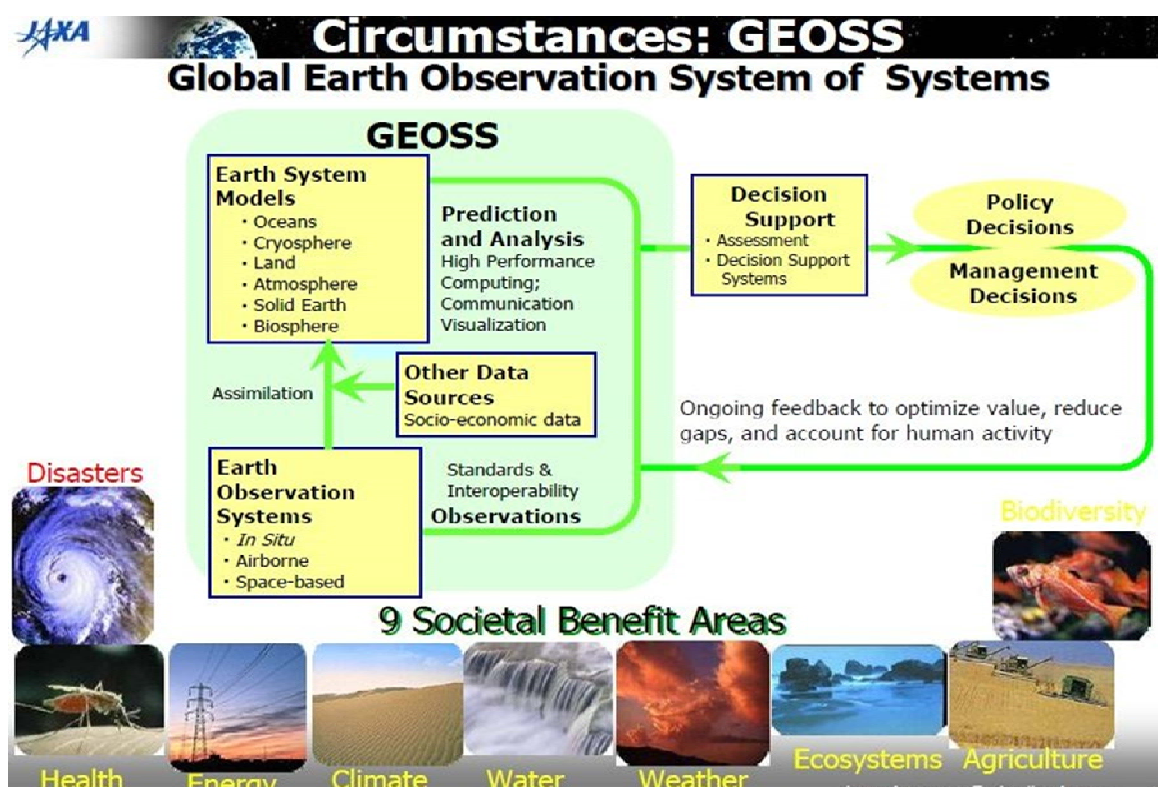
地球観測分野では GEOSS(Global Earth Observation System of Systems:全球地球観測システム)という国際的枠組みがある。GEOSS は 2003 年から約 10 年をかけて構築する Systems of Systems である。地球システムについての人類の知識は、ある分野では進歩しているものの、完全からは程遠い。また多くの国際的な機関や計画は、地球観測の調整を持続し改善するために行われているが、地球観測データを得るための現在の取り組みは、

・特に途上国における、データ及び関連する利益へのアクセスの不足、
・技術インフラの陳腐化、
・データ統合と相互運用性の不適切さ、
・観測の継続性の不確かさ

等によって制限されている。GEOSS は、複数システムによる分散型のシステムであり、既存の観測と処理システムがそれらの所掌を保ったままで、現在の協調関係の上に段階的に作られ、その一方で、新しい要素を掘り起こし取り込むものである。

図 4-1 に GEOSS の概念を示す。　　　　（出典:JAXA 公開 HP）

図 4-1　GEOSS の概要

B

5　用語の定義

　SEで扱う基本的な用語は抽象的であるので各人がそれぞれの解釈をしていることが多い。そのためSEの理解が阻害されることもあるので、主要な用語について「用語の定義」、「従来の使われ方と問題点」などを示すことにより共通理解を図る。
　また、本書で取り上げかつ内容が判り難い専門的な用語（例えばコンテキスト解析など）についても説明を載せた。

Architecture ［アーキテクチャ］
　アーキテクチャとは、システムとその構成要素の構造・機能・運用インタフェース、運用プロファイル等を包括的に体系化し、システム全体とその構成要素間の相互関係を明らかにしたものであり、システム全体の見取り図ということができる。

　近年、しだいに複雑化・大型化していくシステムの構造・機能を体系的に整理し、システム全体の概要を把握し、また同時にシステムの構成要素間のつながりを明確にすることは、上位システムのニーズを反映した的確なシステムを構築していく上で、非常に重要な事である。システムのアーキテクチャを的確に描くことは、システムの構成要素を過不足無く記述する事であり、システム構築の際の適切化・効率化を図る事に大きく寄与する。

Context Analysis ［コンテキスト解析］
　インタフェースの相互関係を図（コンテキストダイアグラム）に表してインタフェース要求や条件を分析することにより成果物自体の境界を明確にする手法である。

　例えば、ある「システム」のコンテキスト解析を行うには、まず、中心に「システム」を置き、「システム」に関係する全てのインタフェー条件項目を項目毎にシステムの周りに相互矢印で配置した図に表す。この図に基づいて「インタフェース　項目リスト」を作成し、リストの項目ごとに「インタフェース要求」を明らかにし、最終的に「インタフェース仕様＝入力／出力条件」を設定する。

Design ［設計］
　構成要素等に対して割付けられた機能・性能を、具体的なハードウェアやソフトウェア等によって実現化するための行為であり、機能設計と物理設計がある。

Implementation ［製作・製造・実装］
　設計段階で決定された仕様・図面を元に、製品を製造し機能を組み込んでいく作業。

Integration ［組立・統合］
　Implementation された製品もしくは下位レベルの製品を、組み立て、統合し、上位レベルの製品とする作業。 Implementation と Integration は相対的なものであり、同じ作業でも作業者の視点によってどちらにもなりえる。たとえば人工衛星の場合、コンポーネントを完成させるという作業は、衛星システム担当からみると Implementation となるが、コンポーネント担当からみると Integration となる。

Life Cycle ［ライフサイクル］
　ミッションの創出から、要求定義、設計、製造、試験、運用、廃棄に至るサイクルであり、段階的プロジェクト計画法の全フェーズを包含している。

Phase ［フェーズ］
　「段階的プロジェクト計画法」 参照。

Phased Project Planning ［PPP: 段階的プロジェクト計画法］
　大規模なシステムを高い品質を保ちながら、確実に効率よく開発するための手法。PPP では、開発全体をいくつかのフェーズに区分し、各フェーズで行うべき作業内容を明確に定義する。そして開発のフェーズ毎に、その結果を評価し、次フェーズへの移行可否を判断しながらフェーズを進めていく。

Process ［プロセス］
　実行される一連の関連した行為（アクション）や活動（アクティビティ）の事で、入力と出力が存在する。

　入出力に整合性がないと抜けが生じ、追跡可能性（トレーサビリティ）がないと入出力の変更に対し漏れが生じるという問題が生じる。
　プロセスもシステム同様、様々なレベルで用いられるため、プロセスの中にサブプロセス群が存在しうる。
　プロセス群の流れを図の形式で示したものをプロセスフローチャートと呼ぶ。プロセスフローチャート全体で見て入出力が有れば、プロセスフローチャート自体が、プロセスととらえることもできる。

Product ［成果物］、End Product ［最終成果物］、Enabling Product ［副成果物］
　成果物は最終成果物と副成果物に分けられる。最終成果物は最終的に欲しい成果物で、副成果物は対象とするシステムがその機能を発揮するために必要な支援要素としての成果物である。なお、成果物には、製品（ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア）、種々の活動、人、情報、技術、施設、サービス等の要素がある。しかし、本書では、最終成果物は最終製品と同義とする。

　最終成果物と副成果物の整合性をとって開発を進めていかないと不都合が生じるため、開発の段階から副成果物を視野に入れておくことが必要。

Requirement ［要求］
　「上位システムのニーズに合致した高品質の成果物を、期間内、予算内に提供する」ためには第一に「上位システムのニーズ」とは何かを把握する事が必要である。「上位システムのニーズ」をシステムの構築に的確に反映するために、明確化された上位システムの期待を要求と呼ぶ。実現可能性等を考慮して要求を技術者に提供できるよう定量的に記述したものが技術的仕様である。

　上位システムのニーズには、「期待」のような漠然としたものも含まれている。必要に応じてインタビューや協議により、システムに対するユーザー要求の明確化（要求分析と要求定義）を図る。要求があいまいなまま開発が進むと改修などの手戻りが生じることとなってしまう。要求には、機能（システムのふるまい）・性能・外部インタフェース・環境・リソース・物理的特性に関するものの他にも、法律や規則、プロジェクト方針のように（それに従わなくてはならないという）制約事項のようなものもある。要求定義の段階で

「誰から誰への要求であるか」を明確にすると共に「要求とシステムの実現結果」を考慮し、検証可能な要求を設定する必要がある。実際の要求事項はシステムの状態や運用モード、コンフィギュレーション等を考慮したうえで、これらの組合せによって記述される。また、要求、ニーズ、仕様が識別されていないこともあり、混乱を招くことになるので注意が必要である。

Specification ［仕様書］

システムやサブシステム・コンポーネントに対して検証性を含めて要求・設計・製品・試験などの特性を規定した文書。

Stakeholder ［利害関係者、権利所有者、発言者］

プロジェクトに積極的に関与しているか、または、プロジェクトの実行や完了によって、自らの利害の影響を受ける個人及び組織で、顧客、システムの使用者、エンドユーザ、製造者、プロジェクトマネージャなどがそれにあたる。広義では競争者なども含まれる。

一般に、企業や官庁及び一般国民も、あるシステムのステークホルダである。
日本における宇宙開発では、直接的なユーザーである研究者や官庁関係者、開発メーカ、国民などがステークホルダにあたる。

System ［システム］

ある目的を達成するために組織化された機能要素の集合であり、組織化により単なる要素和以上の特性を発揮するもの。言い換えると、ミッション目的を達成するために要素を統合させた機能的集合体であり、最終成果物*と副成果物*の2つから構成される。

「システム」という言葉は技術分野によって異なる意味合いで扱われる。例えば、ソフトウェア技術者はプログラム群の集合体をシステムと言い、電子技術者は電子回路群の集合体に対してシステムという言葉を用いる。一方、「地球観測システム」を例にあげると、地上系の運用管制局/データ処理システムと地球観測衛星がシステムを構成する主要サブシステムである。さらに地球観測衛星に着目した場合、人工衛星バス自体が一つのシステムであり、このシステム構成要素として電源系、姿勢制御系、推進系等の多様なサブシステム群が並ぶ。このように「システム」や「サブシステム」といった言葉は、再帰的かつ相対的なものであり、「衛星バスシステム」のように対象を明示的に示すことにより絶対的なものとなる。言い換えると、システムの対象とする範囲は技術者や管理者個々の立場によって異なり、SE のプロセスも上位から下位のシステム構成要素に対し再帰的に適用が可能であることを意味している。そのため、単に「システム」と言う場合には、相対的か絶対的かどちらの意味なのか、何をさしているかを共通認識しておかないと混乱を生じる。関係者の視点を合わせておくために、これら対象とするシステムの概念はプロジェクトの開始時点、ミッション定義等の中で定義する必要がある。
SE であつかう「システム」の範囲については 2 章に記載する。

System Design ［システム設計］

顧客および他のステークホルダと合意したシステム要求を満足する製品を実現するための設計解（具体的には仕様、図面等）を得る活動を言う。本書においては、「ミッション要求定義」「システム要求分析」「機能設計」「物理設計」の4プロセスを、「システム設計（分割）プロセス群」と呼んでいる。

Technical　Activity ［技術活動］
　技術活動は、マネジメント活動との対比で定義される。本書における技術活動は、「システム設計プロセス群」・「製作・インテグレーションプロセス群」・「評価プロセス群」の活動である。本書におけるマネジメント活動は、「SE マネジメントプロセス群」の活動である。

Traceability　［トレーサビリティ］
　トレーサビリティとは「跡を追う（trace）」と「できること（ability）」を組み合わせた用語で、「追跡可能性」と訳される。具体的には、顧客の要求を聞き出してから、顧客の要求を満たす製品を作り出し運用するまでの過程を追跡し明らかにできるよう管理する。

　システム設計プロセス群と製作・インテグレーション（統合）プロセス群のプロセスにおいて極めて重要な事項である。前者では顧客の要求と設計結果（仕様）に齟齬が生じないよう必要に応じてトレーサビリティ・マトリクスを作成する。これは表形式で左側に要求を記述し、右側に設計仕様の項目を記す。後者では衛星システムでは構成する全ての組立て品、機器、部品材料の、設計、部品メーカ、製造ロット、検査記録、試験記録等の製造履歴が追跡できるようにすることである。これらの履歴情報は部品メーカ側と衛星メーカ側の双方で整合をとって関連付けられ、第三者にも判るようにトレーサビリティ情報の管理が行われる。トレーサビリティによって、例えば他の衛星プログラムで該当する部品材料が不具合を起こした場合に、不具合通知を受けた部品材料メーカは、該当部品材料を使用している全ての衛星側に警告を発する。それを受けた衛星側は良品に交換するといった是正処置を迅速、確実に実行することができる。

Use Case Diagram ［ユースケース図］
　ユースケース図はシステムが外部に提供する機能を利用者の視点でとらえたモデルであり、システム要求分析等で成果物自体の境界を明確にする手法として使用される。

　ユースケース図は人形のマーク、楕円のユースケース（外部から見たシステムが提供する機能）及びシステム境界の3要素から構成される。人形マークはアクターと呼ばれ、システムを利用する何らかの役割を持つもので、人やサブシステムなどシステムにアクセスする何らかの役割を持ったものである。アクターは、システム境界の外部に書かれ、ユースケースはシステム境界の内部に書かれる。ユースケースは、システム内の機能を記述したものであり、例えば、「直下点の画像を取得する」「地上局 B にデータを送信する」などと表現する。
　なお、ユースケース図はソフトウェアのオブジェクト指向表記法のデファクトスタンダードである UML（Unified Modeling Language）の一部となっている。

User ［利用者］
　ユーザー（User）とは、システムや機器を実際に使う「利用者」のことである。技術に明るい技術者が開発の主導を握ると、それに詳しくない一般ユーザーにとって使いづらいシステムや機器になってしまうことがある。それに対して「ユーザー本位」というユーザーの視点でシステムや機器を見直そうという動きもあり「ユーザーフレンドリーな（利用者に優しい）設計」などと使われる。
　とくに、システムの最も川下における利用者のことを「エンドユーザ」ということもある。

Validation　［妥当性確認］
　妥当性確認とは、当該システムに要求を出した側の意図する機能・性能を、当該システムが有していることを確認する行為である。つまり妥当性確認とは、成果物が要求元の意図どおりにできているかを確認する行為である。要求を出した側が確認する。

具体的には、システム機能の分割・細分化の段階においては、上位要素から下位の要素に要求がフローダウンされる際に下位への要求が上位からの要求に対して完全性を持っている事を確認する。インテグレーションの段階においては、階層毎の検証結果が適切に上位の要求を満たしている事を確認する。
最終的なバリデーションはステークホルダの真のニーズが反映されている事を確認する行為であり、通常、エンドユーザや利用者といったステークホルダによって行われる。設計上の手戻りを防ぎ、効率的なシステムインテグレーションを行うために要素開発の段階毎に早期のバリデーションが行われることが望ましい。

Verification ［検証］
検証とは、システム構築の際にシステム、サブシステム等に割付けられた個々の機能・性能（明確に規定された要求事項を具現化した設計結果）に対し、当該システムが所定の機能・性能を満足していることを確認する行為である。つまり検証とは、成果物が設計どおりにできているかを確認する行為である。設計者が確認する。

具体的には、システムインテグレーションの段階において、下層の構成要素からシステムに至る階層毎に設定された要求事項に対し規定通りの機能・性能を有していることを客観的証拠に基づき確認する。

（Validation ＆ Verification 補足）
地球観測衛星の場合、地上で観測センサが設計どおりに機能・性能が満足する事の確認行為を”Verification”といい、観測センサから得られたデータにより、目的とする観測対象を的確に捉えられる事の確認行為を”Validation”という事が多い。また、GSE（Ground Support Equipment）の機能・性能が要求を満足する事の確認行為も”Validation”と言う。GSE は支援装置であり、試験や他の主たるシステムの支援に供される。試験や他の主たるシステムから見ると GSE は”Valid”（有効）でなければならない。開発が進むと Verification のみに注力して Validation を意識しなくなりがちであり、上位からの要求を満たしているかの確認がとれていないことがあるので注意が必要。

6　参考文献

・「INCOSE　Systems Engineering Handbook ver.3」

INCOSE TP 2003-002-03 及び 2003-016-02

・「NASA Systems Engineering Process and Requirements」　NASA　NPR　7123.1

http://nodis3.gsfc.nasa.gov/displayDir.cfm?t=NPR&c=7123&s=1

・JAXA「プロジェクトマネジメント実施要領」

・「JAXA 技術成熟度（TRL）運用ガイドライン」（BDB-06005）

・「Systems engineering – System life cycle processes」 JISX0170/ISO・IEC 15288

・「Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process」

IEEE 1220

・「NASA　Systems Engineering Handbook」 NASA SP 610S

http://diglib.shrivenham.cranfield.ac.uk/technology/resources/books/nasasyseng

・「Systems Engineering」 ECSS E 10 Part 1B

・「Processes for Engineering a System」 ANSI/EIA 632

・「Engineering Management」 MIL-STD-499A 及び 499B（Draft）

ims-web.asahi-u.ac.jp/ims09/japanese/pdf/JappeC.pdf

B